

Université de Montréal

**AVISEURS INDÉPENDANTS POUR LES ENTREPRISES DE CAMIONNAGE
DANS LE CONTEXTE DES BOURSES DE FRET**

par

Stela Ghita

Département d'informatique et de recherche opérationnelle

Faculté des arts et des sciences

11507741

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès sciences (M.Sc.)

en informatique option recherche opérationnelle

Décembre 2003

©Stela Ghita, 2003



AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé:

**AVISEURS INDÉPENDANTS POUR LES ENTREPRISES DE CAMIONNAGE
DANS LE CONTEXTE DES BOURSES DE FRET**

présenté par:

Stela Ghita

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes:

Patrice Marcotte

(président-rapporteur)

Michel Gendreau

(directeur de recherche)

Teodor Gabriel Crainic

(co-directeur)

Jacques Ferland

(membre du jury)

Mémoire accepté le:

4 mai 2004

Sommaire

Depuis quelques années, une nouvelle économie se développe sous nos yeux. À côté des secteurs traditionnels, nous assistons à l'apparition d'un nouveau secteur économique basé sur l'emploi massif de nouvelles technologies, le commerce électronique. Nous nous intéressons, notamment, aux marchés électroniques qui touchent le domaine du camionnage, où les bourses de fret servent de lieu d'échange entre les expéditeurs et les entreprises de transport. Les transporteurs ont besoin d'outils pour décider de la stratégie qu'ils utiliseront pour obtenir les charges les plus profitables disponibles sur le marché.

Pour les aider, nous développerons des outils de support pour une prise de décision basée sur l'optimisation, les aviseurs. Leur rôle sera de seconder les entreprises de transport dans leurs choix concernant leur participation aux enchères sur des marchés électroniques, de traiter l'information disponible sur le marché et de réaliser l'intégration de leurs mises dans le système des opérations de transport. Le problème est formulé comme un problème de maximisation du profit total dans le cas des marchés périodiques, une version du problème traditionnellement connu sous le nom de Problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps (Vehicle Routing Problem with Time Windows VRPTW).

Mots clés : aviseurs indépendants, bourses de fret, commerce électronique, enchères, industrie du transport, marchés électroniques, mises

Abstract

As traditional commerce moves more and more towards on-line business transactions, specialized software agents have the necessary abilities for an efficient allocation of resources on the electronic markets.

Market mechanisms, such as auctions, represent an effective means to maximize the profits of carriers by making biddings. Consequently, the independent advisor will extract information on the prices from the e-marketplace and on charges from the transport orders, with the aim of making bidding recommendations, which correspond to the constraints imposed by the space-time situation of the fleet. The problem is looked at as an extension of the vehicle routing problem, in which vehicles are available in certain sites for a limited time and must reach places at a pre-established moment. We introduce a formulation for periodic market case, for one and more independent biddings.

Keyword : auctions, bidding, fleet management, freight e-marketplace, independent advisor, trucking, vehicle routing

Table des matières

Sommaire	iii
Abstract	iv
Table des matières	v
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	viii
Remerciements	ix
Chapitre 1	
Introduction	1
1.1 Problématique générale	4
1.2 Objectif / Contribution	11
1.3 Plan du mémoire	12
Chapitre 2	
Le contexte d'action des aviseurs	13
2.1 Le commerce électronique	13
2.2 Les négociations automatisées	15
2.3 Les mécanismes d'enchères	17
2.4 Les enchères et l'industrie du transport	24

Chapitre 3

Aviseurs	28
3.1 Les aviseurs	28
3.2 Les aviseurs indépendants	32
3.2.1 Exemple de cas d'utilisation des aviseurs indépendants	38

Chapitre 4

Marché périodique	45
4.1 Aviseur indépendant pour un marché périodique - problématique	45
4.1.1 Formulation	48
4.1.2 Modèle mathématique	49
4.1.3 Formulation simplifiée	59
4.2 Résolution et enjeux	64

Chapitre 5

Applications et extensions	69
5.1 Application au marché périodique	69
5.2 Marché continu avec mises simples	70
5.3 Mises combinatoires	71
5.4 Marchés parallèles et hétérogènes	72

Chapitre 6

Conclusion	74
Bibliographie	76

Liste des figures

1.1	Modèles possibles selon les hypothèses	9
3.1	Diagramme d'un aviseur indépendant et de son environnement . .	33
3.2	L'interaction d'un aviseur indépendant avec le marché	35
3.3	Le fonctionnement de l'aviseur indépendant sur un marché multi- rondes	37
3.4	Les possibilités de transport pour le premier véhicule	41
3.5	Les possibilités de transport pour le deuxième véhicule	42
3.6	Les possibilités de mise pour les deux véhicules	43
4.1	Le réseau	54
4.2	Le réseau modifié	60
5.1	Fonctionnement du marché parallèle	72

Liste des tableaux

3.1	Liste des véhicules disponibles	38
3.2	Liste des charges disponibles	38
3.3	Matrice des temps de parcours	39

Remerciements

J'aimerais remercier M. Michel Gendreau, mon directeur de thèse, ainsi que M. Teodor Gabriel Crainic, mon codirecteur, pour la confiance qu'ils m'ont accordée, le climat agréable qu'ils ont su créer et pour leur support durant toute cette entreprise.

Je tiens aussi témoigner ma gratitude à ma famille et en particulier à Marius, pour son soutien moral et financier, et sans qui ce mémoire n'aurait pas été possible.

Cette recherche fait partie du projet TEM (Towards Electronic Marketplaces) qui est cofinancé par les Laboratoires Universitaires Bell et par le CRSNG. Le projet TEM vise la mise en place de prototypes de marchés électroniques. Je tiens à remercier les experts québécois du groupe Commerce électronique du CIRANO pour m'avoir initiée aux domaines des sciences économiques et à ceux des technologies de l'information, du management et de la finance.

Chapitre 1

Introduction

Depuis le début des années 90, l'utilisation de l'Internet connaît un grand développement. La technologie informatique a fait un bond considérable au cours de ces dernières années grâce à plusieurs éléments majeurs comme les protocoles de transmission, le Web, ou les navigateurs utilisés pour lire les informations. Ces dernières années ont vu l'émergence de phénomènes importants. Des sociétés mettant en œuvre la nouvelle technologie informatique comme Yahoo, Amazon, E-Trade, e-Bay, etc sont devenues de véritables entreprises et commencent à menacer les leaders du marché traditionnel. Parallèlement, de grandes entreprises ont développé une part croissante de leurs activités sur Internet. De plus, même les grands financiers ont de plus en plus la certitude que le réseau Internet est une mine d'opportunités qui ne peut pas laisser indifférent un dirigeant ou un investisseur avisé.

En fait, une nouvelle économie est en train de naître sous nos yeux. À côté des secteurs traditionnels nous assistons au développement rapide d'un nouveau secteur économique basé sur l'emploi massif de nouvelles technologies. Il repose en bonne partie sur les activités des services ainsi que du commerce.

Avec le développement du commerce électronique, Internet est devenu un moyen viable de commercialisation. Grâce à Internet, certaines entreprises offrent dorénavant à leurs clients de nouveaux avantages déterminants que ne leur donneraient pas les chaînes de distribution classiques.

Aujourd'hui des dizaines de millions de personnes utilisent Internet. Comme ces usagers sont des consommateurs potentiels (pour des produits ou des services),

les compagnies sont de plus en plus motivées à publier sur le réseau Internet des informations sur leurs propres produits et services pour les faire connaître au grand public. Le Web permet aux clients un accès interactif au texte, aux sons ou à l'image, ce qui rend possible une meilleure interaction entre les deux parties participant aux transactions.

Des auteurs se sont penchés sur les facteurs de succès du commerce électronique et sur les causes des échecs qu'ont connus certaines entreprises. La leçon à tirer de cette première phase de développement du commerce électronique tient, d'après A. Broche [14], en peu de mots : "think strategy first, then technology". Il est alors évident que chaque entreprise doit s'attarder au processus d'élaboration de sa stratégie d'affaires. Il s'agit non seulement de déterminer le rôle et l'ampleur que le commerce électronique tiendra dans le processus d'affaire, mais aussi de s'assurer que les décisions à ce sujet partent d'une réflexion approfondie, notamment sur l'impact que ces technologies peuvent avoir sur leurs activités.

Traditionnellement, dans les transactions non électroniques, il y a au moins trois étapes distinctes. Les acheteurs potentiels et les vendeurs doivent premièrement se trouver les uns les autres, ensuite négocier les termes de l'échange (le prix, la date de livraison, la quantité de produits ou de services, les conditions de paiement etc.) et finalement exécuter la transaction. D'habitude, ces négociations sont conduites par les personnes directement impliquées dans les transactions d'affaires. Le commerce électronique permet d'automatiser une partie ou toutes ces étapes.

L'environnement en ligne favorise les transactions automatisées et en particulier les enchères, grâce à deux propriétés importantes du support électronique. Premièrement, le réseau supporte des communications peu chères, dans des zones étendues et de façon dynamique. Même si le protocole de communication est point-à-point, un serveur médiateur (l'enchère) peut facilement gérer un protocole pour des milliers de participants. De plus, le processus de révélation de l'information est contrôlé très minutieusement. En contraste avec une enchère orchestrée

par une personne dans une pièce, un médiateur électronique peut établir exactement quel participant reçoit quelle information et quand, conformément aux règles de l'enchère. Deuxièmement, dans la mesure où la négociation d'enchère peut être assez longue, elle peut être automatisée et donc devenir plus efficace pour tous les participants.

Le développement du commerce électronique a comme conséquence logique la mise en place de divers marchés électroniques. Nous nous intéressons, notamment, à ceux qui touchent au domaine du camionnage où les bourses de fret servent de lieu d'échange entre les entreprises de transport et les expéditeurs. Dans ce contexte, les transporteurs ont besoin d'outils pour décider de la stratégie qu'ils utiliseront pour obtenir les charges, les cargaisons, les plus profitables disponibles sur le marché. Pour prendre une bonne décision, ils doivent analyser des informations complexes dévoilées par le mécanisme du marché et les combiner avec leur propre processus de planification. Pour les aider, nous développerons des outils d'aide à la décision basés sur l'optimisation : les aviseurs. Les aviseurs assisteront les entreprises de transport dans leur prise de décision sur les mises rentables, en traitant les informations disponibles sur le marché et en réalisant leur intégration dans le système d'opération de transport. Les aviseurs seront donc directement reliés au système de décision et de planification du transporteur et seront utilisés pour identifier les charges sur lesquelles il pourrait miser durant les enchères, ainsi que pour déterminer les informations utiles pour les calculs des prix de chaque transport.

Notons cependant que l'aviseur que nous nous proposons de mettre au point n'assistera pas le participant dans l'élaboration d'une stratégie de mise proprement dite. Ainsi, il identifiera et construira pour le participant les mises les plus rentables pour sa flotte de véhicules.

1.1 Problématique générale

Le transport est une activité vitale pour beaucoup de firmes, entreprises et organisations. En particulier, le transport de marchandises est essentiel pour toute économie. Il assure la distribution des biens et des services vers les clients. Les services de transport contribuent donc indirectement aux activités de production et d'échange de biens ainsi qu'à la consommation. L'industrie du transport de marchandises doit être compétitive, avoir un haut niveau d'efficacité économique (bas coûts des opérations) et de qualité des services, ce qui implique une rapide adaptation aux changements politiques, sociaux, économiques ou technologiques. Toutes ces exigences ont convaincu les transporteurs d'utiliser de plus en plus les marchés électriques. Ceux-ci sont mieux structurés que les marchés traditionnels en permettant certains services privés et en même temps un mécanisme équilibré concernant la relation offre - demande. Ils assurent la sécurité et l'exactitude des transactions et garantissent la fiabilité des communications avec un ou plusieurs marchés.

Le système de transport de marchandises est un domaine très complexe qui suppose l'action de deux joueurs importants : *l'expéditeur* et le *transporteur*. L'expéditeur a besoin de transporter des biens entre divers emplacements comme le lieu de production, la zone de distribution ou directement aux clients. Les produits peuvent être transportés par train, par bateau, par camion, etc. Le transporteur exécute le transport des charges sur des trajets de l'origine à la destination ou il procède à une consolidation des charges sur le trajet.

Si on étudie la planification et les opérations propres au système de transport de marchandises, une distinction s'impose entre le transport *dédié* et la *consolidation*. Dans le premier cas, les opérations de transport sont dédiées à un seul client. Dans le cas de la consolidation, plusieurs clients sont desservis simultanément par un même véhicule ou convoi. Le système de transport peut être dédié à un seul type de biens ou à plusieurs.

Dans l'industrie du camionnage, le transport sur de longues distances qui utilise

un seul véhicule pour chaque client fait partie du transport dédié. Ce mode de transport est le “*truckload*”.

Le lien entre les deux partenaires est *l'ordre* de transport qui contient les caractéristiques propres à chaque demande, soit les localisations de disponibilité et de destination de la charge, les temps de disponibilité et d'arrivée de la marchandise, etc.

Habituellement, l'affectation des requêtes de transport est faite après une négociation entre le transporteur et l'expéditeur ou un intermédiaire. Cette manière traditionnelle a souvent des conséquences qui peuvent nuire au processus d'affaires tant pour les transporteurs que pour les expéditeurs. Le nombre de partenaires potentiels est ainsi limité et de plus, le caractère bilatéral de ce type de négociation s'avère souvent peu rentable pour les deux parties.

L'utilisation des enchères sur les marchés électroniques qui rend possible les négociations et les échanges par l'intermédiaire du réseau Internet est une solution efficace tant pour les transporteurs que pour les expéditeurs. Ce nouveau type de marché offre des avantages comme une plus grande visibilité pour tous les participants, la rapidité des transactions en ligne, etc.

Pour les expéditeurs, le marché électronique crée la possibilité de minimiser les coûts de transport à cause de la multitude de partenaires qui offrent les services. Ensuite, ils auront la certitude de pouvoir choisir les transporteurs les plus qualifiés.

Pour les transporteurs, ce type de marché offre la chance de maximiser l'utilisation de la flotte de véhicules par un accès rapide à de nouvelles informations sur de potentiels partenaires d'affaires. De plus, ils pourront obtenir des charges plus profitables qui influenceront de façon positive leurs profits.

Donc, les transporteurs ont beaucoup à gagner en se servant des marchés électroniques mais, pour que cette utilisation soit vraiment efficace, ils doivent savoir comment choisir les charges les plus profitables, faire une offre de services

adéquate et essentiellement à quel prix évaluer leur mise.

Chaque compagnie de transport dispose d'une flotte de véhicules qui sont utilisés en suivant la politique décisionnelle de l'entreprise. Son but est de maximiser les profits par une bonne stratégie de gestion des véhicules.

Conformément à son système décisionnel, dans le cadre du transport dédié de type "*truckload*", le transporteur peut opter pour divers moyens afin d'obtenir des contrats de transport (à long terme ou avoir comme objectif un seul transport). Il peut utiliser la traditionnelle négociation bilatérale avec des partenaires privilégiés, la présentation d'une soumission en réponse à un appel d'offre ou le réseau Internet. Ces contrats lui permettent d'obtenir plusieurs charges à transporter qui auront des conséquences sur la gestion de la flotte.

L'utilisation du réseau Internet donne à la compagnie de transport l'accès aux bourses de fret lui permettant directement de miser sur une ou plusieurs charges qui semblent avantageuses. Pour décider de leur mise, les transporteurs doivent tenir compte de plusieurs facteurs dérivés du fonctionnement du marché.

Premièrement, l'utilisation d'un seul marché ou de plusieurs marchés (marchés parallèles) influence les choix de mises de la manière suivante. Dans le cadre d'un seul marché, ils peuvent miser sur un seul ordre, plusieurs ordres indépendants ou plusieurs ordres dépendants (mise combinatoire). L'environnement des marchés parallèles donne au transporteur la possibilité de miser sur un ou plusieurs ordres indépendants les uns des autres (en se trouvant sur des marchés différents) ou de poser des mises combinatoires sur chaque marché (dans le cas des marchés qui permettent ce type de mises). De plus, ces marchés peuvent fonctionner de façon synchrone ou séquentielle. Dans chaque cas particulier, le transporteur doit faire une offre conformément au processus d'affaires, remettre ou ne pas remettre en question les ordres de transport déjà obtenus en fonction du fonctionnement du marché et tout ça dans un contexte de gestion de la flotte disponible.

Deuxièmement, le choix de la mise du transporteur est largement influencé par la structure de sa flotte de véhicules. En fonction du type de marchandise et du

type de véhicule, le transporteur peut allouer à chaque charge un véhicule, mais aussi le même véhicule à plusieurs charges de mêmes types ou de types compatibles. Il a aussi la possibilité d'allouer plusieurs véhicules à la même charge (en considérant un ordre divisible ou non atomique). Donc, son option pour un ordre ou autre doit obligatoirement tenir compte de ces critères.

Par conséquent, le transporteur doit établir non seulement sa politique de gestion des véhicules, mais aussi sa politique de prix.

Troisièmement, le but recherché par le transporteur ainsi que ses besoins peuvent déterminer le modèle de marché choisi. Pour une négociation à la discrétion des participants il y a les panneaux d'affichage électronique. Ensuite, les plates-formes d'enchères ouvertes (définies par le mode de communication dans lequel le statut de l'information est partagé immédiatement et intégralement à tous les participants) lui offre du dynamisme et de la transparence dans la révélation des prix. Les enchères synchronisées ou simultanées tout comme les enchères combinatoires lui donnent de plus la possibilité de changer sa stratégie en fonction de la variation des prix, ce qui influence de manière positive l'efficacité de ce type de marché.

Pour des allocations plus complexes, les marchés combinés et décentralisés assurent un seul système d'adjudication de prix, même si les négociations ont lieu sur différents marchés pour différents types de services ou produits.

Les résultats obtenus par les participants aux enchères peuvent influencer de manière différente la gestion de leur flotte de véhicules.

Comme le marché est concurrentiel, il est possible que le transporteur gagne mais aussi qu'il perde une mise, quelqu'un d'autre la remportant. Dans le premier cas, il doit évaluer l'impact de ce nouvel ordre sur le positionnement de sa flotte. S'il perd, alors il doit réévaluer sa position spatio-temporelle en tenant compte des caractéristiques particulières du marché. Si le marché lui permet de renoncer à une mise gagnée antérieurement, mais qui est en lien direct avec celle qu'il a perdue, il réévaluera le profit de la transaction, en incluant une pénalité. Si la mise gagnante est un contrat ferme (non modifiable), alors le transporteur réévalue le profit sur les mises gagnantes.

En conclusion, si on regarde l'énoncé du problème général, on se rend compte de sa complexité qui est la conséquence naturelle de toutes les combinaisons possibles entre les types de ressources, des ordres et des marchés, selon les hypothèses considérées (Figure 1.1). Les ressources homogènes ou hétérogènes du transporteur pourraient être utilisées pour satisfaire à un ordre individuel, plusieurs ordres indépendants ou des ordres combinatoires. Ces ordres, à leur tour, seront disponibles de façon continue ou périodique sur un seul marché ou sur plusieurs marchés dont les activités pourront être séquentielles ou synchronisées. Dans ce contexte d'interrelation entre les participants et des marchés électroniques très compétitifs, le besoin des outils qui faciliteraient les choix des mises et qui donneraient les courbes marginales de leurs valeurs devient une nécessité de la nouvelle économie.

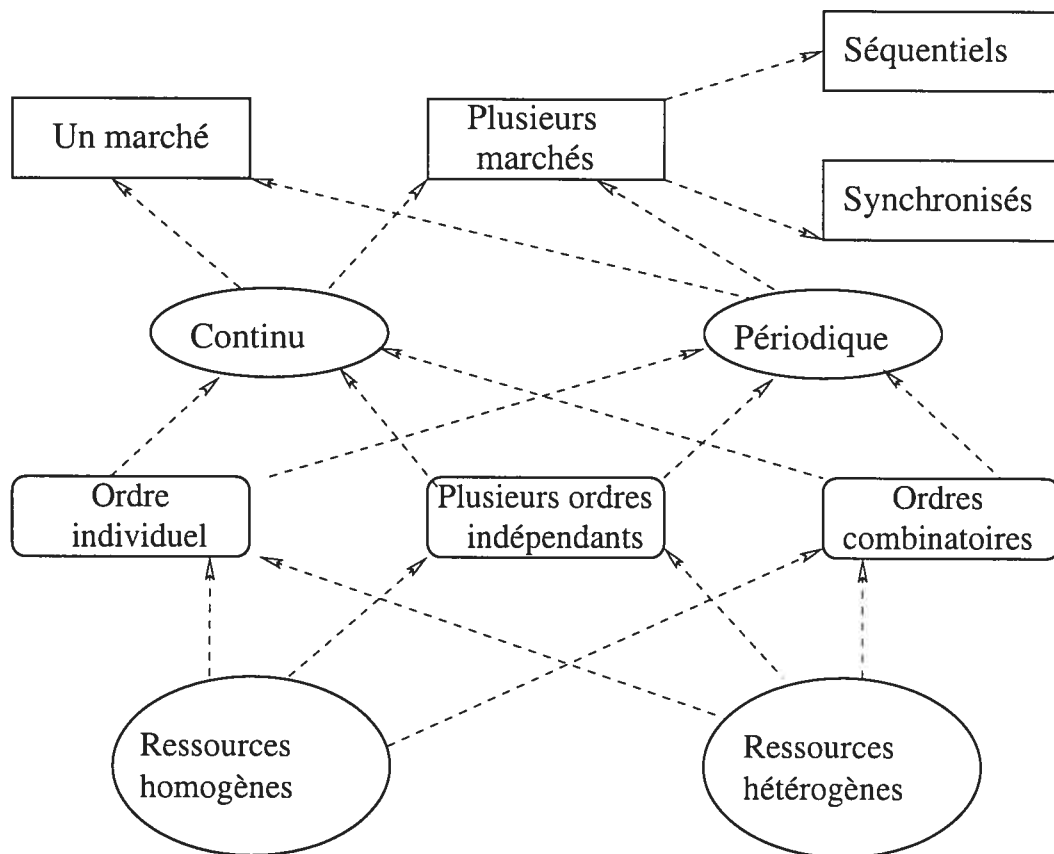


FIG. 1.1 – Modèles possibles selon les hypothèses

Parmi ces combinaisons possible (Figure 1.1), nous étudierons le cas d'un seul marché sur lequel le transporteur peut faire des mises individuelles et séquentielles. Il a le droit de choisir un ou plusieurs ordres comme objet de sa mise, mais ceux-ci seront toujours indépendants. Les enchères se déroulent en plusieurs rondes. Après chaque ronde, le gagnant provisoire pour chaque mise est connu. Dans la ronde suivante, les participants peuvent modifier ou retirer leur mise sur certains ordres, en fonction des résultats de la ronde précédente. La liste des charges qui contient les demandes de transport est disponible sur le marché avant que les enchères commencent. La compagnie qui participe à l'enchère dispose d'une liste de véhicules au moment de la prise de décision concernant les mises qu'elle soumettra sur le marché.

Les véhicules concernés par l'enchère devraient être disponibles dans certains endroits précis, pour transporter des charges dans une fenêtre de temps préétablie. De cette manière, le transporteur se retrouve avec une fraction de la flotte non utilisée durant une certaine période de temps. Pour optimiser son activité, la compagnie de transport peut disposer de cette partie non utilisée, mais à condition qu'elle devient disponible dans les délais requis. Par conséquent, les véhicules, qui devraient se déplacer à vide de l'emplacement courant à celui où la charge correspondant à un ordre de transport déjà accepté est disponible, pourraient être utilisés dans le but de les rapprocher de leur lieu de destination finale.

Le nombre des véhicules ainsi que les caractéristiques de chacun de ceux qui seront utilisés dans le processus d'enchères sont déterminés par le système décisionnel de la compagnie de transport. Ils apparaîtront dans une liste de disponibilité du transporteur. Cette liste génère certaines contraintes découlant des caractéristiques de chaque véhicule : le type du véhicule (incluant les données sur sa capacité multidimensionnelle, les possibilités de substitution d'un type de capacité par un autre, le type de marchandise qu'il peut transporter, la vitesse moyenne), la localisation de disponibilité, la localisation de destination, la fenêtre de temps de

disponibilité et celle du temps requis pour atteindre la destination. La localisation d'origine représente l'endroit où se trouve le véhicule quand il est considéré comme disponible par le transporteur. La localisation de destination est le lieu où le véhicule doit se trouver à un certain moment établi par la compagnie en fonction de sa politique. Le gérant de la flotte de véhicules doit affecter efficacement des ordres de transport à chaque véhicule, tout en essayant de satisfaire aux contraintes imposées par l'expéditeur, ainsi qu'aux critères d'optimalité locale.

1.2 Objectif / Contribution

Parmi la multitude des marchés propres au commerce électronique nous avons choisi la bourse de fret comme cadre de travail. Dans une telle bourse, les expéditeurs soumettent leurs requêtes de transport et les entreprises de camionnage y répondent sur un mécanisme d'enchères afin d'obtenir les mandats de transport. Pour répondre aux demandes des expéditeurs de manière plus efficace, nous allons concevoir pour les transporteurs un outil qui les aidera dans leurs décisions. Cet outil portera le nom d'aviseur indépendant. Nous allons le définir, déterminer et examiner son rôle comme aide à la décision dans la bourse de fret. Son comportement ainsi que sa relation avec le marché fera partie intégrante de notre étude. De point de vue fonctionnement, il sera basé sur le modèle d'optimisation un pour le marché périodique. Il identifiera les offres plus attrayantes et donnera les prix marginaux ainsi que les combinaisons efficaces pour le transporteur.

L'aviseur que nous allons développer sera donc utilisé par le transporteur pour identifier certaines opportunités sur le marché et pour construire des mises appropriées. Il sera efficacement intégré dans le système de planification et d'information de l'entreprise de camionnage et fera des recommandations pour des mises tout en respectant les contraintes techniques et le statut courant de la flotte et des opérations. Notre contribution sera limitée à ces fonctions de l'aviseur indépendant. Nous n'établirons pas de stratégies de mise ou de négociation

sur le marché.

1.3 Plan du mémoire

La problématique générale inhérente aux études complexes sur les aviseurs dans le cadre du domaine de transport, en particulier pour le camionnage, vient d'être précisée dans ce chapitre où nous avons indiqué la grande variété de problèmes qui en dérivent en fonction des hypothèses considérées.

Ensuite, nous ferons un rappel des travaux pertinents antérieurs à notre travail dans le chapitre 2. Nous nous intéressons plus particulièrement aux négociations automatisées (section 2.2) dans le cadre du commerce électronique (section 2.1). Les mécanismes d'enchères ainsi que leur implication dans l'industrie du transport sont exposés dans les sections 2.3 et 2.4.

Au chapitre 3, nous examinons quelques types d'aviseurs et leur fonctionnement sur le marché. En particulier, nous présentons la notion d'aviseur indépendant (section 3.2) qui sera l'outil d'optimisation nécessaire aux compagnies pour minimiser leurs coûts de transport.

Cette étude nous amène à proposer notre approche d'optimisation pour la flotte de véhicules qui pourrait être utilisée pour l'exécution des mandats de transport disponibles sur les marchés électroniques dans le contexte des bourses de fret. Le chapitre 4 étudie l'exploitation de la structure d'un marché périodique par l'aviseur indépendant pour modéliser un problème spécifique de tournées de véhicules avec fenêtres de temps. Le chapitre 5 présente quelques applications et extensions dans le cas du marché continu avec des mises simples et dans le cas des marchés parallèles.

Finalement, nous concluons dans le chapitre 6 en faisant un bref rappel des points importants énoncés tout au long du mémoire et en suggérant quelques avenues futures de recherche.

Chapitre 2

Le contexte d'action des aviseurs

2.1 Le commerce électronique

Pour mieux encadrer les définitions et le fonctionnement des aviseurs, il est important de passer en revue les principales notions concernant le commerce électronique et les négociations automatisées. Un survol des enchères et du monde du transport nous permettra de comprendre le choix du marché avec lequel les aviseurs pour le transport des marchandises interagiront.

Le commerce électronique (CE) ne suppose pas une façon totalement nouvelle de conduire des affaires. Il faut encore et toujours développer les produits et les services de l'entreprise, obtenir les approvisionnements et les ressources nécessaires à leur fabrication, les produire le plus efficacement possible, orchestrer leur commercialisation et leur distribution, assurer leur livraison et gérer le suivi des commandes. En ce sens, le commerce électronique n'est pas un nouveau processus d'affaires, il fait seulement référence à une technologie utilisée par les organisations. Le commerce électronique peut donc se définir comme des échanges électroniques entre une entreprise et ses clients, facilitant les transactions d'affaires. Cela consiste essentiellement à appliquer de nouvelles technologies de l'information et de communication (NTIC) en vue d'accroître l'efficacité des pratiques commerciales entre les partenaires. Ces nouvelles technologies électroniques comprennent Internet, l'EDI (Échange des Données Informatisées = Electronic

Data Exchange), les différents types de réseaux, notamment les intranets, les plates-formes électroniques ainsi que les logiciels et les langages spécialisés.

Les relations de commerce électronique peuvent prendre diverses formes [17], dont les plus connues sont : le CE entre entreprises (C2E) mieux connu sous l'acronyme anglais B2B (Business to Business), le CE de détail (CED) ou B2C (Business to Consumer), le CE entre consommateurs C2C (Consumer to Consumer), les échanges entre pairs P2P (Peer to Peer) ou encore, entre le citoyen (individuel ou corporatif) et les agences gouvernementales B2A (Business to Administration) et C2A (Consumer to Administration).

Les marchés électroniques ont une position plus neutre entre les vendeurs et les acheteurs comparativement aux marchés traditionnels et peuvent procurer des services pour les deux parties participantes dans une transaction [55].

Les marchés électroniques représentent un marché virtuel où les vendeurs et les acheteurs se rencontrent pour échanger des produits et des services. Dans certains cas, elles aident à la détermination des prix de marché. Le marché basé sur Internet utilise la technologie de ce dernier pour distribuer des données sur divers produits dans le but de les faciliter les transactions en ligne. Celles-ci sont initiées soit par les vendeurs, soit par les acheteurs et fréquemment les vendeurs des logiciels de commerce électronique sont aussi impliqués. Les transactions se distinguent entre elles par divers facteurs comme l'objectif visé, la motivation des initiateurs, le modèle des revenus, la restriction des participants ou par le nombre d'étapes qui caractérise une transaction de marché automatisé.

Reich et Ben-Shaul dans [44] étudient les caractéristiques des marchés électroniques et proposent une décomposition "verticale" qui utilise des politiques de marché spécifiques. Segev et al. dans [54] fournissent une vue d'ensemble sur les marchés électroniques qui sont considérés comme mécanisme de support dans l'acquisition indirecte des produits et services en donnant des exemples significatifs dans le monde du commerce électronique : Commerce One [1], Digital Exchange [2], MetalSite [3], NetBuy [4] et TPN Register [6]

Le marché électronique s'avère être l'endroit idéal pour les négociations. Tout

d'abord, les transactions entre les parties participantes peuvent se faire à un prix très bas. Ensuite, le marché électronique crée des conditions exemplaires pour un schéma de prix très flexibles. Le marché est bien structuré ce qui équivaut à offrir des services privés avec des prix affichés. Finalement, beaucoup de temps peut être sauvé dans les négociations des prix.

Les marchés électroniques ont comme objectifs d'assurer l'exactitude des décisions sur le marché ainsi que de garantir la flexibilité, la fiabilité et l'efficacité des communications entre les participants et un ou plusieurs marchés. Ils restent neutre et respectent le caractère bilatéral de chaque contrat tout en assurant l'exactitude et la sécurité des transactions.

La croissance du nombre des entreprises qui sont dotés des capacités de vendre en ligne conduit à la crainte des conflits des canaux de distribution. Les questions qui résultent de cette croissance ont été posées par Aboubekr et Rivard dans [8]

2.2 Les négociations automatisées

Étant donné l'intérêt récent pour le commerce électronique, un grand nombre de travaux de recherche sur les systèmes de négociation automatisés est déjà disponible. Müller [41] fait une description de négociations basées sur les investigations dans le domaine de l'intelligence artificielle distribuée (DAI). Beam et Segev [11] donnent aussi une vue d'ensemble sur les recherches existant dans ce domaine.

Il y a plusieurs formes de négociation : la soumission, le marchandage et l'enchère.

1. *La soumission* est la forme plus simple de négociation dans laquelle un acheteur spécifie le produit ou le service qu'il veut acquérir des fournisseurs et demande des offres. En se basant sur ces offres, l'acheteur sélectionne les fournisseurs auxquels il commandera les produits ou les services. The Contract Net Protocol (CNP) de Davis et Smith [55] est un bon exemple de soumission automatisée.

2. *Le marchandage* est une forme de négociation plus complexe qui suppose des propositions et des contre-propositions entre les parties négociantes jusqu'à ce que une entente mutuelle se produise. Les chercheurs dans l'intelligence artificielle distribuée ont déjà utilisé ce type de négociation pour résoudre les conflits et la coordination parmi les agents logiciels avec intelligence multiple [41]. Sandholm et al. [51] suggèrent plusieurs éléments qui doivent être pris en considération dans une négociation : le niveau des propositions, la délibération locale et les liens entre les objets négociés. Stanley [57] développe un serveur sur le Web pour conduire les négociations de type marchandage entre les clients, les vendeurs et les acheteurs, dans le cadre du commerce électronique. Plusieurs copies de ce serveur peuvent être jumelées avec d'autres serveurs déjà existants sur le Web pour obtenir des négociations compatibles dans l'intérêt de chaque client possédant une copie.

3. *L'enchère* est une autre forme de négociation dans laquelle un protocole fixé d'enchère est suivi. La plupart des enchères peuvent être caractérisées dans les termes qui font référence à la manière de gérer les trois principales activités du marché :

- i) *L'enregistrement des ordres*. Les encanteurs vérifient la viabilité des ordres et font une mise à jour de la base de données en tenant compte des ordres actifs.
- ii) *La génération d'une proposition de prix hypothétique*. Durant la période de mise, les enchères peuvent révéler des informations intermédiaires sur le statut des ordres, connues sous le terme générique "price quote".
- iii) *L'adjudication*. La fonction principale d'une enchère est de déterminer des contacts entre les vendeurs et les acheteurs compatibles. L'action d'adjudication assigne des acheteurs aux vendeurs et détermine le prix de la transaction ainsi que les quantités.

2.3 Les mécanismes d'enchères

L'enchère est une méthode d'allocation des produits et des services par compétition. Leur distribution est faite à la personne qui les évalue à leur plus haute valeur. Dans une enchère, les vendeurs veulent obtenir le meilleur prix possible et les acheteurs désirent payer le prix le plus bas.

Les enchères constituent une classe générale des protocoles dans lesquels des agents interagissent pour déterminer les clauses d'un contrat. La définition standard est donnée par Mc Afee et Mc Millan dans [37] :

“Une enchère est une institution de marché avec un ensemble explicite de règles qui déterminent l'allocation des ressources et les prix sur la base des mises des participants sur le marché.”

Du point de vue de l'architecture, le plus classique type d'enchère examiné dans les recherches introductives de la théorie des enchères [37] et [39], est l'enchère *unilatérale* dans laquelle un seul vendeur (ou acheteur) accepte des offres de plusieurs acheteurs (vendeurs). L'enchère *multilatérale* [36], par contraste, permet à plusieurs acheteurs ou vendeurs de faire une offre dans le but d'échanger un produit ou un service. Les enchères doubles continues (CDA) sont un cas particulier du type double dans lesquelles les acheteurs et les vendeurs sont appariés dès que une mise compatible aux demandes est détectée. Pour ce type d'enchère, l'adjudication est déclenché par la réception des nouvelles demandes. La version périodique [38] de CDA appelé souvent “call market” recueille les ordres sur un intervalle spécifié de temps et ensuite ferme le marché à l'expiration de l'intervalle.

En considérant maintenant seulement le niveau d'informations révélées sur les mises, [61] et [60] regroupent les enchères en deux catégories :

1. *Les enchères à enveloppes fermées.* Dans ce processus les participants ont besoin de deux types d'informations pour préparer leur mise. À un prix donné,

un participant doit évaluer *quel est son profit s'il gagne et quelle est la probabilité de gagner*. Plus la mise est élevée, moins le profit est élevé, mais la probabilité de gagner est plus forte. Pour évaluer le profit qu'il peut gagner, le participant doit connaître la difficulté de la tâche à exécuter, le coût des ressources qui sont nécessaires et son accès à ces ressources. Ces informations sont de nature *technique et interne*. Pour évaluer la probabilité de gagner, le participant doit connaître l'état du marché et de la concurrence : qui va miser et éventuellement, quels sont leurs avantages. Ces informations sont de nature *stratégique et externe*. Les informations stratégiques impliquent des coûts pour leur acquisitions mais cela peut éviter de perdre parce que la concurrence a été mal évaluée alors que l'on aurait pu offrir un meilleur prix, ou bien de perdre de l'argent en misant trop bas pour être sûr de gagner. Plus on a de l'information sur les autres participants, sur leur manière de miser ainsi que sur le *prix de réserve* (= le prix minimum auquel un participant est prêt à exécuter un contrat, en dessous duquel il n'est pas profitable pour lui de réaliser le contrat), plus l'estimation de la probabilité de gagner est bonne et les chances de regretter la mise choisie diminuent. Les informations qui permettent d'obtenir une estimation fiable de la probabilité de gagner sont clairement apportées par l'expérience acquise dans d'autres processus similaires et par une bonne connaissance de l'industrie. Par contre, durant le processus proprement dit d'enchère aucune information sur les mises des compétiteurs n'est disponible.

2. *Les enchères ouvertes*. Dans ce type d'enchère les informations de nature *stratégique et externe* sont fournies par le *processus de découverte de prix*. Au fur et à mesure que le prix augmente, le participant doit se demander si les profits à ce prix sont suffisamment intéressants pour demeurer dans la course. Dans la mesure où l'enchère s'arrête quand tous sauf un abandonnent, le gagnant n'a pas à laisser de l'argent sur la table et chacun peut saisir une bonne affaire si elle se présente. Pour être gagnant, il suffit au participant de réagir aux mises des concurrents. L'avantage principal qu'un concurrent peut avoir sur les autres est

le *prix de réserve* faible. La stratégie adoptée par les participants est la suivante : surenchérir tant que le prix à battre est acceptable. De plus, le gagnant n'a pas à révéler jusqu'où il est prêt à aller pour obtenir le contrat. La simplicité de cette stratégie (dans le cas des enchères simples) permet de limiter les erreurs stratégiques et aussi les risques de manipulation du marché.

Le principal avantage du processus de découverte de prix est l'efficacité. Une *enchère efficace* est l'enchère durant laquelle l'allocation des contrats est obtenue par celui qui est le plus disposé à l'obtenir.

Si on regarde la complexité des mises qui sont posées sur le marché [9], les mises peuvent être *simples* (un seul objet) ou *combinatoires* (composition de plusieurs objets pour un seul prix).

Dans le monde des affaires, les techniques d'enchères les plus connues sont :

Enchères au meilleur prix. Cette enchère a comme caractéristique principale d'être secrète. Les mises sont faites par écrit et déposées dans des enveloppes scellées pour assurer la confidentialité. Le gagnant de l'enchère est celui qui a la mise la plus élevée. Une bonne stratégie serait de miser un peu plus bas que le prix du marché (le prix payé antérieurement pour le même objet, prix connu en analysant l'historique du marché) pour obtenir un bon prix. Les mises scellées offrent l'avantage de ne pas influencer les enchérisseurs et de ne pas permettre des ententes malhonnêtes entre eux. Le grand inconvénient réside dans le fait qu'une personne possédant une grande fortune est fortement avantagée étant donné qu'une telle personne dispose de l'argent nécessaire et peuvent faire des offres plus élevées que les autres participants dans le cas où elle veut gagner absolument.

Enchères de Vickrey. Les règles de soumission sont les mêmes que pour le type précédent et la gagnante est aussi la mise la plus haute. La différence est que le gagnant ne doit payer que le deuxième plus haut prix. Ce type d'enchère donne un prix au produit qui se rapproche de celui du marché, en évitant ainsi des augmentations démesurées des prix. La stratégie optimale sera de miser exactement le prix qu'on veut payer parce que dans le cas gagnant on paie un prix plus petit ou égal au maximum que on est disposé à payer.

Enchères hollandaises. Dans l'enchère hollandaise ou *enchère à prix descendant* un prix de vente est fixé par l'encanteur dès le début de l'enchère. L'encanteur diminue le prix progressivement jusqu'à ce qu'un acheteur soit prêt à payer le prix courant. La stratégie optimale serait maintenant de rester toujours un peu au-dessous du prix qu'on veut vraiment payer. Du côté des avantages, il y a peu de risques pour le vendeur d'obtenir un prix inférieur au prix du marché. L'absence de compétition pouvant faire monter les prix est l'un des inconvénients majeurs dans ce type d'enchère.

Enchères anglaises. L'enchère anglaise est connue sous le nom de *criée* ou *enchère à prix ascendant*. Généralement, elle débute par le plus bas prix acceptable (plus petit que le prix du marché) pour un objet donné. Par une succession de mises de plus en plus élevées de la part des enchérisseurs, le prix du bien augmente jusqu'à ce qu'un seul enchérisseur demeure dans la course. L'encanteur attribue, après un certain temps sans offre, le bien à l'enchérisseur qui a fait l'offre la plus élevée. De point de vue avantages, la simplicité et la popularité de ce type d'enchère en font un excellent moyen de vente. La possibilité d'annuler une vente si le prix du marché n'a pas été obtenu est un atout pour le vendeur.

Enchères doubles. Son nom vient du fait que les acheteurs et les vendeurs font une offre pour le produit désiré. D'un côté les offres de vente sont triées par ordre croissant et de l'autre des offres d'achat sont triées par ordre décroissant. Une association des offres (d'achat et de vente) est faite tant que l'offre d'achat est supérieure ou égale à l'offre de vente. Les économistes prévoient un avenir prometteur à ce type d'enchère dans le domaine du commerce électronique.

Sauf Vickrey (1961) la plupart de économistes et spécialistes de la théorie des jeux ont ignoré dans leurs recherches les enchères jusqu'à la moitié des années 70. Ensuite, ils se sont profondément impliqués dans des études et projets concernant celles-ci. Ils ont commencé à construire des modèles de théorie des jeux sur les enchères d'abord simples pour ensuite continuer avec des modèles qui comparent différentes formes d'enchères : enchères standard fermées, de Vickrey, hollandaises et anglaises.

Beam et Segev [12] présentent les résultats d'une étude faite sur plus de cent enchères en ligne et donnent l'état courant de leur applicabilité pratique ainsi que des statistiques sur leur recherche. Wurman et al. [63] donnent un modèle de décomposition de l'espace des enchères qui met ensemble les similitudes et les différences essentielles de plusieurs mécanismes d'enchères. Les questions auxquelles les différents modèles d'enchères doivent faire face tout comme les disciplines académiques qui pourraient être intéressées par ces mécanismes sont mises en évidence par Rothkopf et Park dans [47].

Les disciplines les plus liées aux enchères sont l'économie et ensuite la sociologie qui présente un point de vue clé sur la population impliquée dans les enchères. L'informatique et la recherche opérationnelle sont devenues, elles aussi, de plus en plus intéressées dans ce type de mécanisme de marché. Tout d'abord, les enchères

sont basés sur des concepts qui peuvent être utilisés et intégrés facilement dans des algorithmes ou des modèles informatiques et décisionnels. Ensuite, en se basant sur ces modèles, des programmes nommés “agents d’enchères” peuvent être conçus pour entrer directement en relation avec les marchés électroniques dans le but de participer aux enchères.

Dernièrement, les enchères combinatoires, surtout dans le domaine financier font de plus en plus l’objet de recherche de plusieurs spécialistes comme De Vries et Vohra [21], Rothkopf, Rekec et Harstad [48], ou Sandholm [52]. Ils analysent une importante classe de mécanismes de marché, les enchères combinatoires, qui permettent aux participantes de placer des mises combinées sur plusieurs objets, en mettant l’accent sur le problème de la détermination des mises gagnantes.

Wurman, Walsh et Wellman [61] considèrent une famille générale de mécanismes d’enchères, les enchères doubles flexibles, qui admettent de multiples acheteurs et vendeurs et déterminent le prix du marché. La description plus complexe des enchères doubles est faite par Friedman et Rust dans leur recueil d’articles “Double Auction Market Institution” [27]. Bichler [13] décrit un prototype de courtier électronique pour les relations de commerce électronique entre entreprises (B2B), qui permet d’avoir des informations dynamiques à partir d’un catalogue électronique en utilisant des négociations basées sur différents mécanismes d’enchère.

Les enchères peuvent être d’une seule ronde ou multi-roudes. Une enchère multi-roudes consiste en plusieurs rondes de négociation : les objets de la mise reçoivent une allocation initiale au début de chaque ronde. À chaque période, les participants misent et à la fin de chaque tournée un gagnant provisoire est déterminé. Pour être éligible comme gagnant temporaire, un participant aux enchères doit améliorer sa mise d’un pourcentage. L’enchère se termine quand il n’y a aucune mise éligible pour un certain nombre de rondes ou quand le nombre de périodes

fixé auparavant pour le déroulement de l'enchère est terminé.

Richelle et Robert [46] analysent trois enchères cadencées dans le cadre des enchères (ouvertes) renversées. Les expéditeurs cherchent un transporteur qui est prêt à exécuter un contrat au prix le plus bas. La procédure utilisée pour en trouver un est l'appel d'offre. Les *enchères renversées* adaptent les règles d'une enchère pour qu'elle recherche le fournisseur de services de transport qui exécutera un contrat au plus bas prix. Ce type d'enchères est utilisé depuis peu de temps parce qu'il requiert que les participants réagissent au prix soumis par leurs concurrents dans un lieu commun à un moment précis. Cette exigence étant coûteuse, la procédure par *enveloppes scellées* était fréquemment utilisée. L'arrivée de la nouvelle technologie de l'information a permis de réunir les participants à une enchère au même endroit sans que leur présence physique soit nécessaire. L'utilisation des enchères renversées dans la procédure d'appel d'offre a un impact important sur le comportement des participants et indirectement sur le prix d'adjudication.

Les enchères ouvertes sont une source d'économie pour tous les participants principalement parce qu'elles permettent d'épargner sur les coûts d'acquisition de l'information stratégique pour la préparation des offres ainsi que pour la soumission de celles-ci. Elles donnent la possibilité d'identifier les offres intéressantes au fur et à mesure que l'information est révélée. Elles génèrent des *gains d'efficacité* en permettant l'identification des offres pour lesquelles existe un plus grand avantage de coût et la sélection du gagnant qui a le plus bas prix de réserve. Ces gains d'efficacité font en sorte que le surplus total à partager entre le donneur des ordres et le fournisseur de services augmente. Pour les participants dont les coûts sont bas ou les ratios quantité/coût sont élevés l'augmentation de l'accès à un plus large éventail de contrats, la réduction de l'incertitude quant à la concurrence et la capacité de ne pas laisser de l'argent sur la table sont payants. D'un autre côté, le fait que les contrats sont adjugés aux participants ayant les prix de réserve les plus bas incite fortement ces derniers à devenir concurrentiels et à

réduire leurs coûts.

Certains problèmes de calculs de coûts (marginaux) ont été étudiés par Sandholm [50], l'existence de l'équilibre de prix a été traitée par Wurman et Wellman dans [62] et le profit relatif aux enchères a été analysé par Morgan et al.[40] .

Étant donné le fait que l'enchère est un mécanisme économique qui permet de nombreuses applications de commerce électronique, soulignons le succès commercial important et relativement immédiat de son utilisation en ligne pour négocier des prix entre un seul vendeur et plusieurs acheteurs. Les enchères sur l'Internet ont été utilisées avec beaucoup de succès par Onsale, eBay et plusieurs autres.

2.4 Les enchères et l'industrie du transport

Le transport des marchandises est un domaine très complexe où les principaux protagonistes ont des pratiques très spécifiques [5]. Ces dernières influencent directement la manière d'accéder au processus concurrentiel des marchés électroniques destinés au transport des marchandises. Les principaux intéressés, les transporteurs, sont des compagnies de transport qui peuvent faire le transport des marchandises par avion, par train, par bateau ou par véhicule. Les artisans camionneurs peuvent utiliser en général [7] un des trois types de véhicules suivants : les véhicules d'une pièce (camions), les véhicules articulés (tracteur + semi-remorque) ou les trains routiers articulés (camion + remorque)

Par conséquence, la composition de leur flotte détermine aussi le type de charges qu'ils choisiront dans leur participation sur les places de marchés électroniques disponibles.

Le type de transport intégré dans la gestion de chaque flotte de véhicules joue un rôle très important dans les options du transporteur pour une certaine place du marché ainsi que pour les mécanismes propres à celui-ci.

Dans le camionnage on peut distinguer deux principaux types de transport (voir

Crainic dans [19] et [20])

1. *TruckLoad* (TL) où les charges pleines sont transportées sur des trajets de point à point.
2. *Less than TruckLoad* (LTL) où la consolidation des charges se fait en différents points du réseau.

Le premier, le *TruckLoad*, donne aux transporteurs la possibilité de faire appel à des mécanismes de marché basés sur des mises individuelles ou bien sur une combinaison de celles-ci, étant donné que après chaque transport de point à point le véhicule sera disponible pour effectuer un autre transport ou pour un reposicionnement.

Le transport de type TL prend des charges unitaires, d'un seul client à la fois et les transfère directement de leur lieu de cueillette au lieu de livraison. En ce mode, un véhicule, le camion, est dédié d'habitude à un seul client. Un camion avec chauffeur est assigné à un client. Le camion est conduit à la localisation désignée par le client et est chargé. Il se rend ensuite à la destination spécifiée où il est déchargé. Il doit être relocalisé pour une autre affectation. Le camion se déplace à vide vers la nouvelle localisation où une demande apparaîtra dans le futur, ou il reste sur place. TL suppose un environnement très dynamique qui offre très peu de certitude sur la demande future. Le service est offert à chaque client et l'affectation de chaque véhicule à une demande rentable est importante pour la gestion de toute la flotte de véhicules. Le développement de stratégies efficaces de gestion des ressources est le coeur du processus de planification. Ces stratégies ont comme but de maximiser le volume des demandes satisfaites (déplacement chargé) et aussi les profits associés en utilisant de façon efficace les ressources disponibles.

Le deuxième type, le *Less than TruckLoad* combine un réseau de dépôts avec la possibilité de charges multiples. Il peut fragmenter et consolider des charges en différents points du trajet pour optimiser l'ensemble du système. Les charges sont prises chez le client pour être regroupées dans le dépôt le plus proche. Elles sont transportées vers le dépôt le plus proche de leur point de destination finale

et ensuite il prennent cette destination dans des véhicules plus petits.

La structure d'un service de transport consiste en un réseau des terminaux reliés par des liens physiques ou conceptuels. La demande est définie entre les points donnés de ce réseau. Chaque chargement a ses propres caractéristiques : l'origine, la destination, le poids, le volume (caractéristiques physiques), la demande de services particuliers : conditions de livraison, type de véhicule, etc. Un profit et un coût accompagnent chaque demande. Pour optimiser ses activités, le transporteur doit prendre d'importantes décisions concernant la gestion locale de la flotte dans un environnement dynamique où le facteur temps joue un rôle essentiel (niveau *opérationnel* de la politique de planification)

Plusieurs mécanismes pour un marché intelligent concernant le transport ont été déjà étudiés. Dans le cadre du transport aérien, Rassenti et al. [45] proposent les enchères combinatoires pour l'allocation des pistes de décollage ou atterrissage en aéroports. Fischer et Müller analysent eux aussi le domaine du transport de la perspective de la théorie de la décision en utilisant le système MARS basé sur la notion de multi-agents dans [26] et dans [25]. La première utilisation des enchères dans le domaine du transport (camionnage) a été publié par Ledyard et al.[35] dans le cadre du projet fait pour Sears Logistics Services (SLS).

L'utilisation du commerce électronique pour les services de transport, surtout pour les services de transport internationaux, a soulevé des questions sur l'incidence dans le cadre juridique actuel. Ce problème a été discuté à la Conférence des Nations Unies sur le Commerce Électronique et le Développement [59]. Ce rapport examine le rôle des documents de transport dans le fonctionnement des opérations commerciales internationales et propose de rédiger une convention internationale qui aurait pour but de supprimer les obstacles juridiques découlant des obligations contenues dans les conventions en vigueur ainsi que de développer

les dispositions des Articles 16, 17 de la loi type de la Conférence des Nations Unies sur le Développement du Commerce International (CNUDCI) concernant le commerce électronique.

Chapitre 3

Aviseurs

3.1 Les aviseurs

Dans le contexte des applications des enchères, on peut entrevoir un bel avenir au commerce électronique. Un cas spécifique est celui de la bourse de fret. Dans la bourse de fret les participants aux enchères seront les transporteurs et les expéditeurs. Nous nous sommes intéressés aux décisions que les transporteurs devraient prendre pour obtenir les offres les plus rentables pour la gestion de leur flotte de camions tout en maximisant leurs profits. Pour atteindre cet objectif, nous allons développer un outil - aviseur en terminologie du commerce électronique - afin d'aider les transporteurs à décider sur quels ordres placer des mises et quels prix proposer pour ces dernières. Comme les algorithmes et les modèles de recherche opérationnelle semblent être très appropriés pour la conception de ces aviseurs, nous allons entreprendre l'étude et le développement de ce projet sur les aviseurs indépendants pour la bourse de fret.

Les aviseurs sont des outils de support des décisions basés sur l'optimisation qui ont comme but d'aider les transporteurs à décider sur quels charges placer des mises, ainsi que la valeur de ces mises. Il peut aussi aider les clients expéditeurs à déterminer leur prix de réserve. Le rôle des aviseurs est principalement de représenter l'intérêt des participants aux enchères sur le marché des bourses de fret. En fonction de ses propres principes de fonctionnement, les aviseurs peuvent évaluer le système de transport dans un contexte dynamique ou stochastique

avec des ressources limitées (les véhicules et la flotte de conducteurs) et en même temps ils peuvent déterminer les coûts engendrés par l'intégration de chaque nouvel ordre dans le système de transport existant.

Plusieurs types d'aviseurs ont été déjà développés. Le plus simple aviseur, basé sur l'allocation "vorace" des véhicules agit de la façon suivante. Pour effectuer un transport de charges correspondant à un ordre de transport, il considère les véhicules vides disponibles dans des emplacements à proximité de lieu d'origine qui peuvent arriver dans la période de disponibilité de la charge. Si plusieurs solutions sont disponibles, il choisit la plus économique. Un véhicule est choisi et ensuite est envoyé vers l'emplacement de disponibilité où il est rempli et part vers sa destination. Dans cette catégorie, le choix des charges peut être fait de plusieurs manières. Si les demandes sont analysées systématiquement dès leur apparition sur le marché [10], alors *l'aviseur est dirigé vers le marché*. Si l'aviseur fait d'abord une prospection du marché dès l'exécution d'une demande afin de trouver la nouvelle charge qui s'enchaîne le mieux avec l'ordre qu'il est en train d'exécuter nous avons un *aviseur dirigé par opérations*. Les aviseurs basés sur l'allocation "vorace" permettent, d'un côté, une réaction du transporteur en fonction du marché. S'ils peuvent intégrer une commande à leur système, ils proposent une mise sur le marché et attendent le résultat de l'enchère. D'autre part, ils peuvent réagir en fonction des disponibilités des véhicules. Dès qu'un véhicule commence l'exécution d'un ordre, ils scrutent le marché afin de déterminer le meilleur ordre à venir et proposent la mise. Cet aviseur, dit "simple" est limité dans son action par le fait qu'il évalue les coûts et les disponibilités en fonction du plan de transport courant et ne regarde pas la configuration du réseau en perspective. Il ne peut pas remettre en question une décision de repositionnement prise auparavant. Un autre type d'aviseur est l'aviseur dynamique qui est basé sur l'allocation et le repositionnement dynamique des véhicules vides. Dans ce cas particulier, il faut prévoir la destination des mouvements à vide et également savoir quand initialiser les départs. L'optimisation de toute la flotte se fait dans un horizon temporel. Chaque fois qu'un ordre est évalué, le système de transport est ré-optimisé. Le

système est considéré dans sa globalité et on évalue l'impact de chaque ordre sur le système entier. Cet aviseur combine le deux types présentés précédemment, soit *l'aviseur dirigé vers le marché* et *aviseur dirigé par opérations*. Il cherche d'abord à satisfaire les ordres un à un, à la manière de l'aviseur orienté vers le marché, ensuite il envisage une réorganisation totale des véhicules, ce qui correspond à l'aviseur orienté par opérations. L'aviseur dynamique cherche à minimiser le coût de l'ensemble du système chaque fois que un nouvel ordre est évalué. Après chaque évaluation, tous les replacements peuvent être remis en cause par l'arrivée d'un nouvel ordre. Si on considère l'interaction de ce type d'aviseur avec le processus de planification des opérations, nous pouvons dire qu'il est *fortement lié* au processus (*couplé*). Il interagit avec le processus de gestion de la flotte à des intervalles réguliers de temps dans le but d'évaluer les charges qui feront l'objet de la mise. La longueur de ces intervalles influence directement le rapport entre le profit et le risque de perdre des charges.

Un aviseur a plusieurs fonctions sur le marché. Tout d'abord, il peut *chercher des informations* pertinentes pour ces activités dans divers marchés. Ensuite, il peut *choisir les mises avantageuses et évaluer les objets disponibles sur le marché dans le but d'avoir une valeur pour lui*. L'aviseur peut aussi *établir une stratégie de mise* ou bien *négoier directement sur le marché*. De plus, il pourrait *coordonner des activités d'enchère*, non seulement sur un seul marché, mais sur plusieurs.

En conclusion, un aviseur est un "agent" logiciel basé sur l'optimisation qui assiste les entreprises de transport dans leur décision pour faire des mises profitables et combine les informations révélées par le mécanisme du marché avec la planification des opérations de transport. Il représente donc l'intérêt des transporteurs sur le marché de la bourse de fret. Il évalue le système de transport qui dispose de ressources limitées (nombre de véhicules ou de conducteurs) dans un contexte dynamique ou stochastique et préconise les coûts engendrés par l'intégration de nouveaux ordres de transport dans le système existant. En plus d'interagir avec les données et les méthodes de planification de la compagnie, l'aviseur prend en

considération les différentes formes de marchés disponibles sur Internet.

3.2 Les aviseurs indépendants

Un type spécial d'aviseur est *l'aviseur indépendant*. Il a la particularité qu'il n'exerce son action que sur une partie de la flotte du transporteur dont il est indépendant quant à la gestion intégrale des véhicules. Il présente un grand intérêt pour les compagnies qui veulent rentabiliser l'utilisation de cette partie qui est disponible pour un certain laps de temps, mais qui doit s'approcher du lieu de sa future destination soit par un transport à vide, soit, de préférence par un transport chargé. La partie de la flotte qui est le sujet de l'action de l'aviseur indépendant sera par conséquent utilisée pour obtenir des profits supplémentaires sur des déplacements qui autrement seraient faites à vide.

L'aviseur indépendant possède les caractéristiques suivantes :

- Il est faiblement lié au processus de planification de l'entreprise. Il n'interagit pas avec tout le processus de gestion de la flotte de véhicules. Son activité est limitée seulement à une partie de la flotte, soit la liste des disponibilités qui lui est fournie par la compagnie.
- Il exerce son action dans un secteur particulier domaine du transport soit le "TruckLoad"
- Il agit sur un marché simple où les enchères sont organisés de façon séquentielle (les charges sont traitées une à la fois par le marché)
- Il participe à des enchères à plusieurs rondes, qui sont périodiques ou continues et durant lesquelles la mise se fait sur des charges uniques et indépendants ou sur une combinaison de charges indépendantes (combinées).
- Il construit des mises simples, indépendantes.
- Il travaille pour un seul transporteur.
- Il assume la fonction de sélectionner les mise avantageuses et évaluer les charges disponibles sur le marché dans le but d'avoir une valeur pour lui.

La Figure 3.1 illustre le comportement d'un aviseur indépendant dans son environnement.

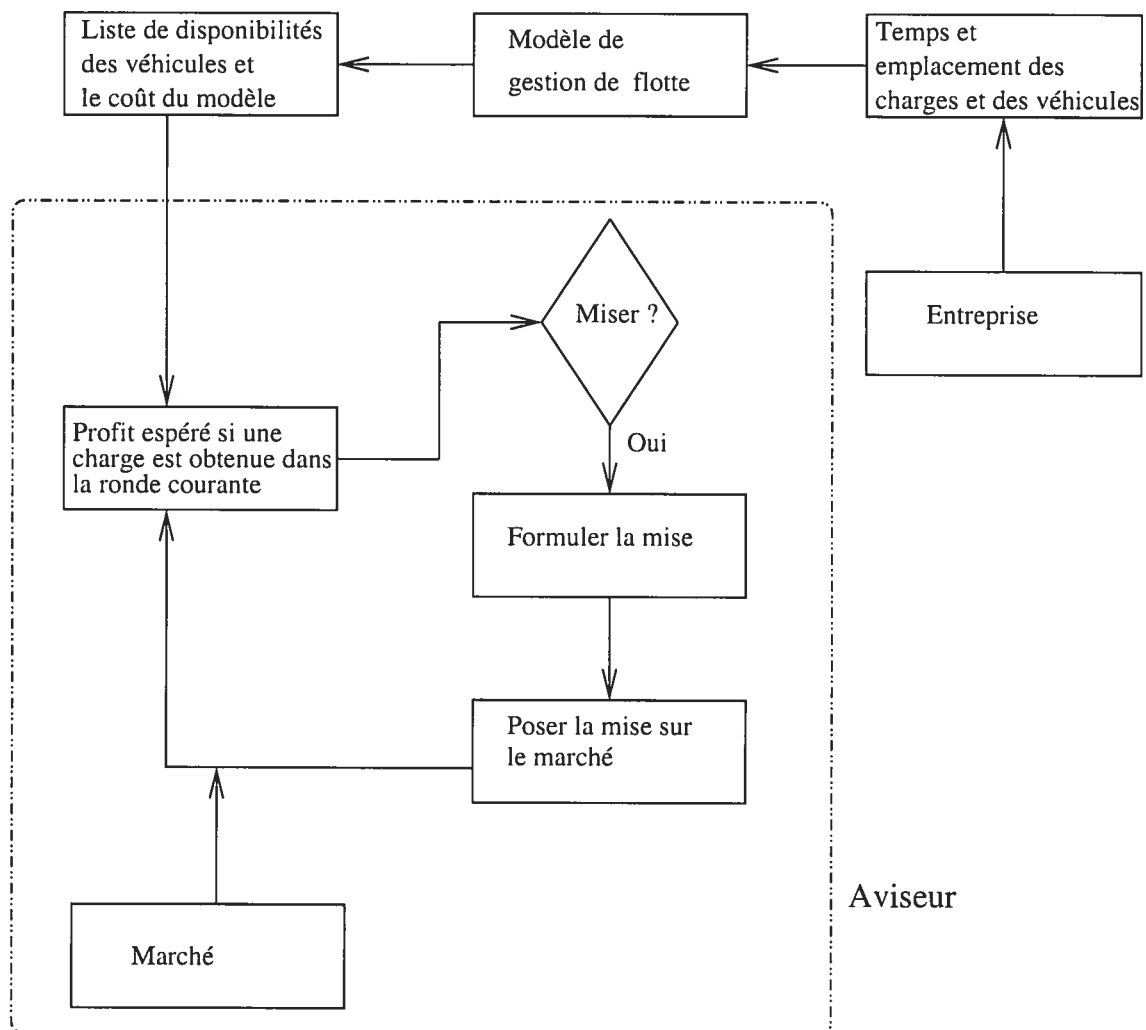


FIG. 3.1 – Diagramme d'un aviseur indépendant et de son environnement

À partir des informations dévoilées par le marché et conformément à la politique de la compagnie, des listes de temps et de localisation des charges possibles sont dressées. Ensuite, en utilisant la liste des véhicules disponibles pour effectuer le transport de ces charges, un modèle de gestion de flotte établit les charges individuelles profitables. Finalement, une mise est formulée et envoyée sur le marché. L'aviseur indépendant interagit avec le marché par intermédiaire d'un négociateur. Le rôle de ce dernier est de gérer les négociations en respectant les règles de fonctionnement du marché. Tout d'abord, le transporteur envoie les données sur les véhicules vers l'aviseur. Celui-ci complète ses listes d'informations avec les caractéristiques des charges possibles, disponibles sur le marché. Après le traitement des données et l'application du programme d'optimisation de la flotte, l'aviseur prend contact avec le négociateur qui commence la négociation sur le marché en tenant compte de recommandations faites par l'aviseur.

La Figure 3.2 donne une description visuelle de cette interaction de l'aviseur indépendant avec le marché.

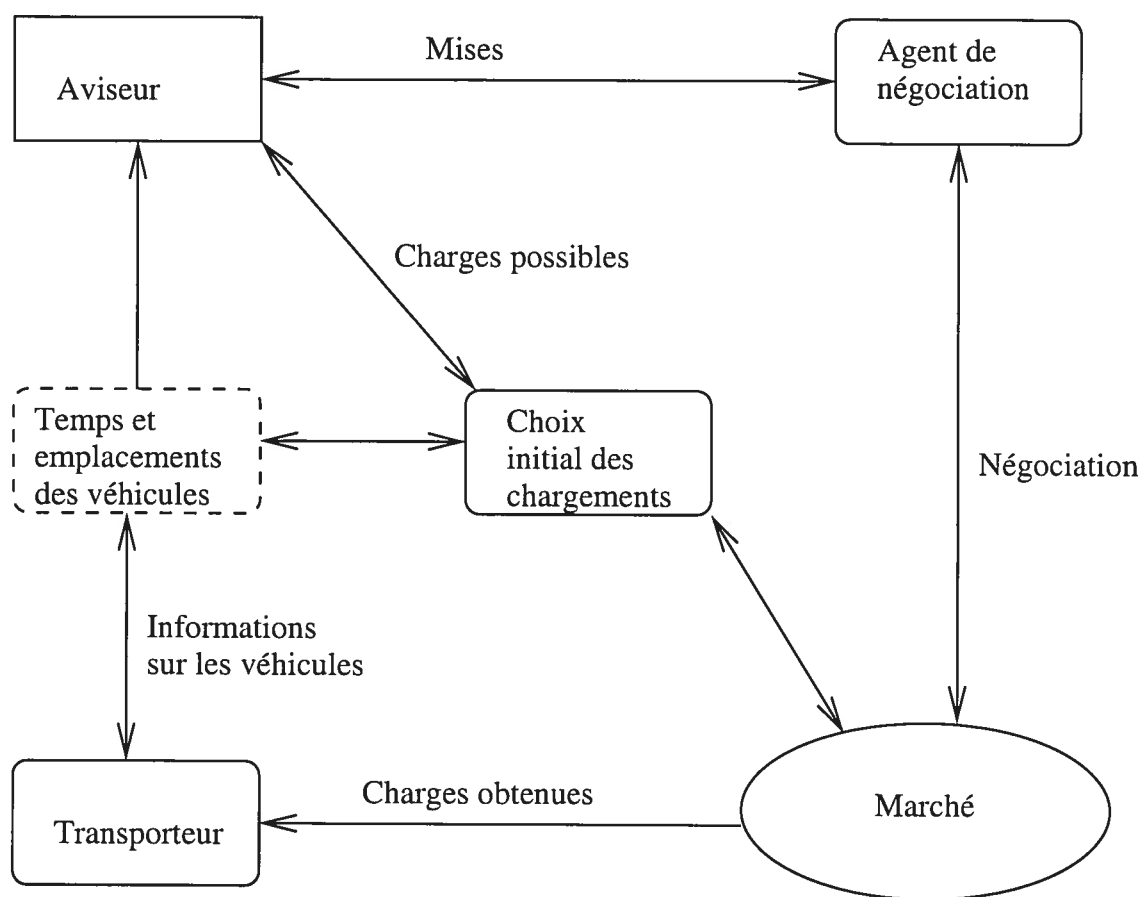


FIG. 3.2 – L'interaction d'un aviseur indépendant avec le marché

Les aviseurs indépendants prennent en considération une partie seulement de la flotte du transporteur. Ceci représente les véhicules qui ne sont pas utilisés durant une certaine période de temps, mais qui devront être disponibles à un endroit bien déterminé à un moment donné, dans le but de satisfaire à des demandes qui sont dans le carnet de commandes ou pour les nécessités de repos du chauffeur. Par conséquent, la fraction de la flotte non utilisée dans le cadre du système décisionnel de l'entreprise, peut être utilisée de manière efficace pour effectuer de transports chargés, au lieu d'être déplacée à vide vers les endroits où les véhicules devraient être disponibles. Pour optimiser ses activités, le transporteur fera appel à un ou plusieurs marchés électroniques indépendants. L'agent logiciel qui l'aidera dans cette situation sera l'aviseur indépendant.

L'agent de négociation est informé de la valeur de départ de l'enchère pour l'objet de la négociation (charge à transporter). Durant la première ronde, il soumet sa mise et attend l'affichage du gagnant temporel. En fonction de cette information l'aviseur indépendant prend la décision de continuer sa participation dans la négociation ou d'abandonner. S'il continue, il envoie sa mise dans la ronde suivante. Après un nombre maximum de rondes (établi préalablement) le gagnant est connu et l'enchère prend fin.

En supposant que les mises sont placées dans un marché simple, dans une enchère à plusieurs rondes avec des mises indépendantes, la Figure 3.3 illustre la façon générale de fonctionner de l'aviseur indépendant.

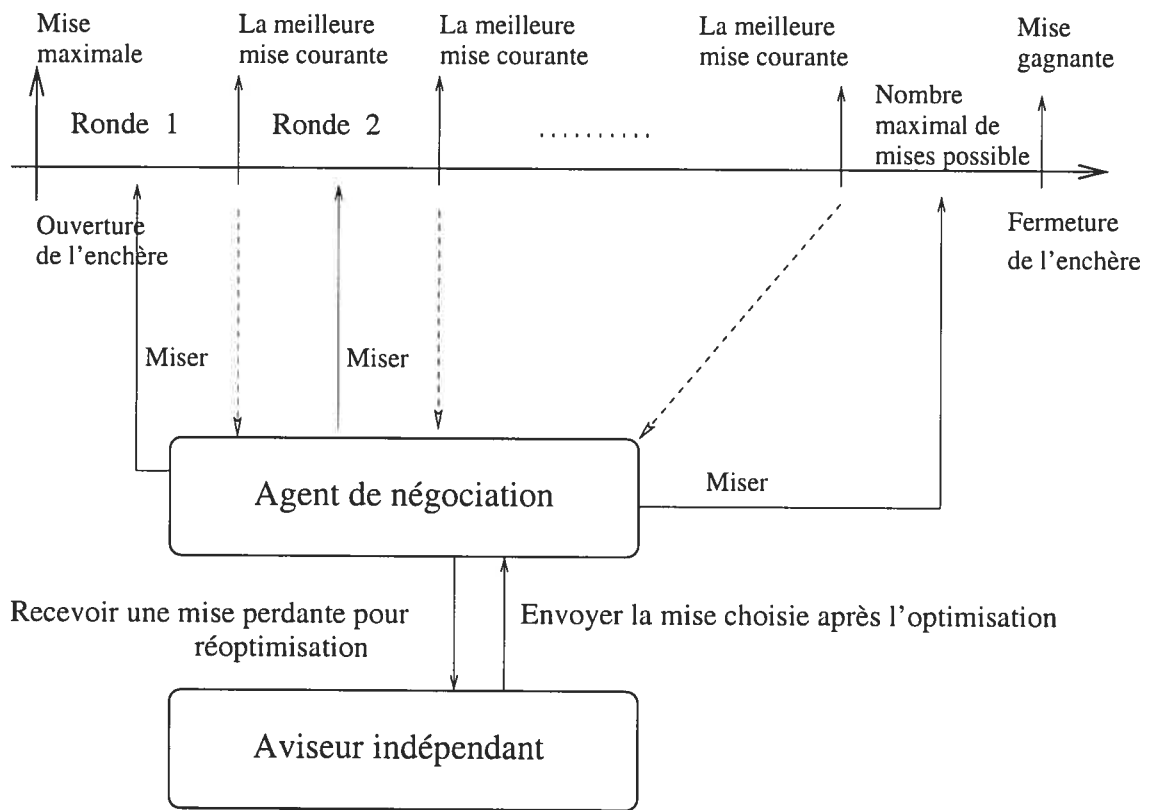


FIG. 3.3 – Le fonctionnement de l'aviseur indépendant sur un marché multi-roudes

3.2.1 Exemple de cas d'utilisation des aviseurs indépendants

Voici un exemple typique où un transporteur peut utiliser l'aviseur indépendant pour obtenir des informations sur les mises qu'il pourra soumettre sur le marché de son choix. Supposons que la compagnie dispose de plusieurs véhicules dont deux ont des caractéristiques spéciales. Ils sont disponibles pour une certaine durée et à des endroits déterminés. De plus, ils devraient être prêts pour une nouvelle utilisation à un instant et dans des localisations établies à l'avance. Ces données sont résumées dans le Tableau 3.1 :

Disponibilités des véhicules				
Véhicule	Origine	Destination	Instant de disponibilité	Instant d'arrivée
1	A	C	1	10
2	B	D	2	10

TAB. 3.1 – Liste des véhicules disponibles

Cette partie de la flotte est utilisée pour transporter des charges disponibles sur le marché. Avant que les enchères ne commencent, les charges suivantes sont disponibles (Tableau 3.2) :

Disponibilités des charges				
Ordre	Origine	Destination	Instant de disponibilité	Instant d'arrivée
1	P	S	2	3
2	Q	R	3	5
3	R	P	4	7
4	S	Q	5	6

TAB. 3.2 – Liste des charges disponibles

Nous disposons d'une matrice (Tableau 3.3) qui donne les temps de transport entre tous les noeuds du réseau de transport, et de deux listes qui contiennent les informations pertinentes sur les véhicules et sur les ordres. Pour pouvoir allouer les ordres aux véhicules, il faut tenir compte des temps de transport entre les noeuds, du temps de disponibilité à la localisation initiale et finale des véhicules, ainsi que des coûts de transport.

Le temps de transport								
	A	B	C	D	P	Q	R	S
A	0	x	8	x	1	1	2	2
B	x	0	x	7	2	1	2	2
C	8	x	0	x	1	3	4	1
D	x	7	x	0	3	4	5	2
P	1	2	1	3	0	1	3	1
Q	1	1	3	4	1	0	2	1
R	2	2	4	5	3	2	0	3
S	2	2	1	2	1	1	3	0

TAB. 3.3 – Matrice des temps de parcours

Dans notre exemple, en respectant les conditions temporelles, le véhicule 1 peut voyager entre les points A et C de plusieurs manières.

Cas 1 : - $A \rightarrow P \rightarrow S \rightarrow Q \rightarrow C$

Si on analyse le déplacement sur l'axe de temps, nous avons :

- à l'instant $t = 1$, le véhicule 1 sera en A
- à l'instant $t = 2$, le véhicule 1 sera en P, où il peut commencer le transport de la charge 1
- à l'instant $t = 3$, le véhicule 1 sera en S, où il attend jusqu'à l'instant 5, pour la charge 4

- à l'instant $t = 6$, le véhicule 1 sera en Q, d'où il part à vide vers C
- à l'instant $t = 9$, le véhicule 1 sera en C

Le véhicule 1 ne peut pas faire le transport des charges 2 ou 3 après 1, à cause des contraintes de disponibilité de ces charges.

Cas 2 :

- $A \rightarrow Q \rightarrow R \rightarrow C$

Dans ce cas, après la charge 2, il ne peut plus exécuter d'autres transports. Il doit se diriger vers son point de destination C, sans charge.

Cas 3 :

- $A \rightarrow R \rightarrow P \rightarrow C$

Dans cette situation, le véhicule peut faire seulement le transport de la charge 3 à cause des instants de disponibilités des autres charges.

Cas 4 :

- $A \rightarrow S \rightarrow Q \rightarrow C$

Dans tous les cas, il faut tenir compte des contraintes de temps, mais aussi il faut maximiser le revenu. Par ailleurs, nous devrions tenir compte du fait que le but est d'approcher le véhicule de sa localisation finale.

Avec le même raisonnement, pour le véhicule 2, nous avons :

Cas 1 :

- $B \rightarrow Q \rightarrow R \rightarrow D$

Cas 2 :

- $B \rightarrow R \rightarrow P \rightarrow D$

Cas 3 :

- $B \rightarrow S \rightarrow Q \rightarrow D$

Dans tous les cas, le véhicule 2 peut faire le transport d'une seule charge, à cause des contraintes des temps qui caractérisent les autres charges. De plus, la compagnie est dans l'impossibilité de miser sur la charge 1 pour son deuxième véhicule. En effet, le véhicule 2 ne peut pas arriver en ville P avant l'instant 3, ce qui dépasse l'instant de prise en charge de la première charge.

Les différentes situations sont représentées dans la Figure 3.4 et la Figure 3.5 .

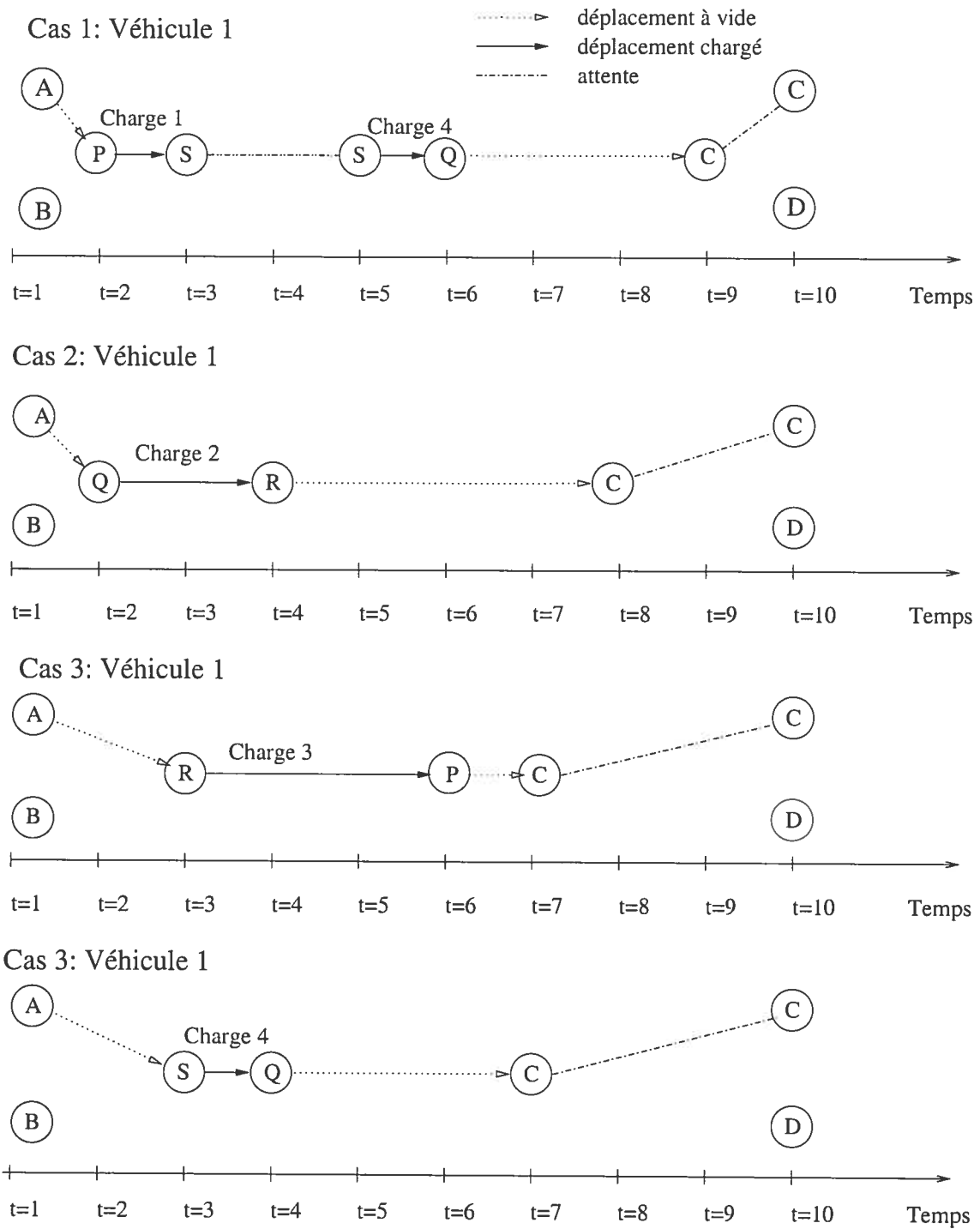


FIG. 3.4 – Les possibilités de transport pour le premier véhicule

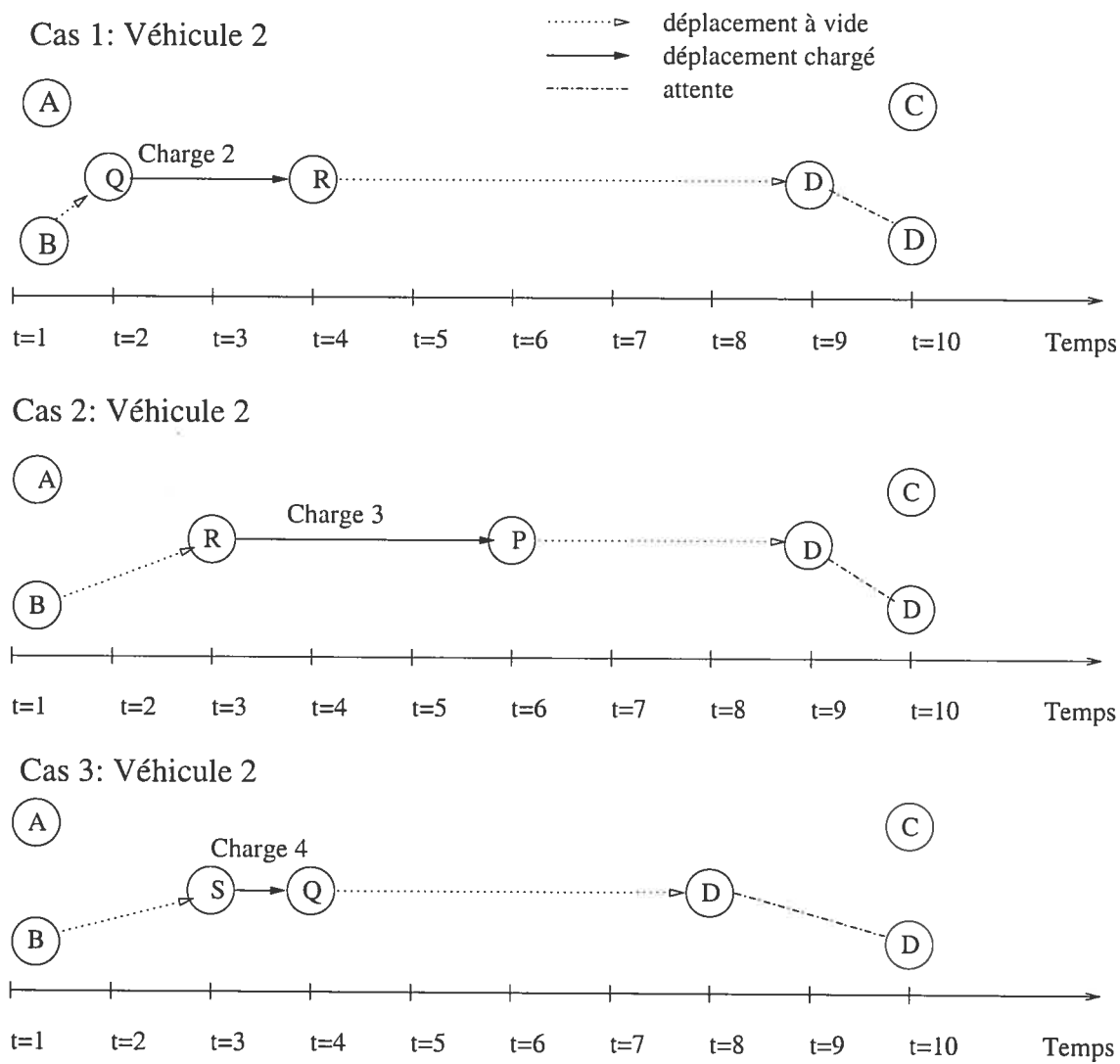


FIG. 3.5 – Les possibilités de transport pour le deuxième véhicule

Pour simplifier l'exemple, nous avons considéré que les coûts du transport pour tous les véhicules dépendent seulement du temps de transport. Donc, ces coûts seront les mêmes pour tous les véhicules qui se déplacent entre les mêmes deux points.

En conclusion, la compagnie de transport peut déposer sur le marché les mises suivantes :

- (Charge 1, Charge 2, Charge 4) ou (Charge 1, Charge 3, Charge 4), situation illustrée à la Figure 3.6.

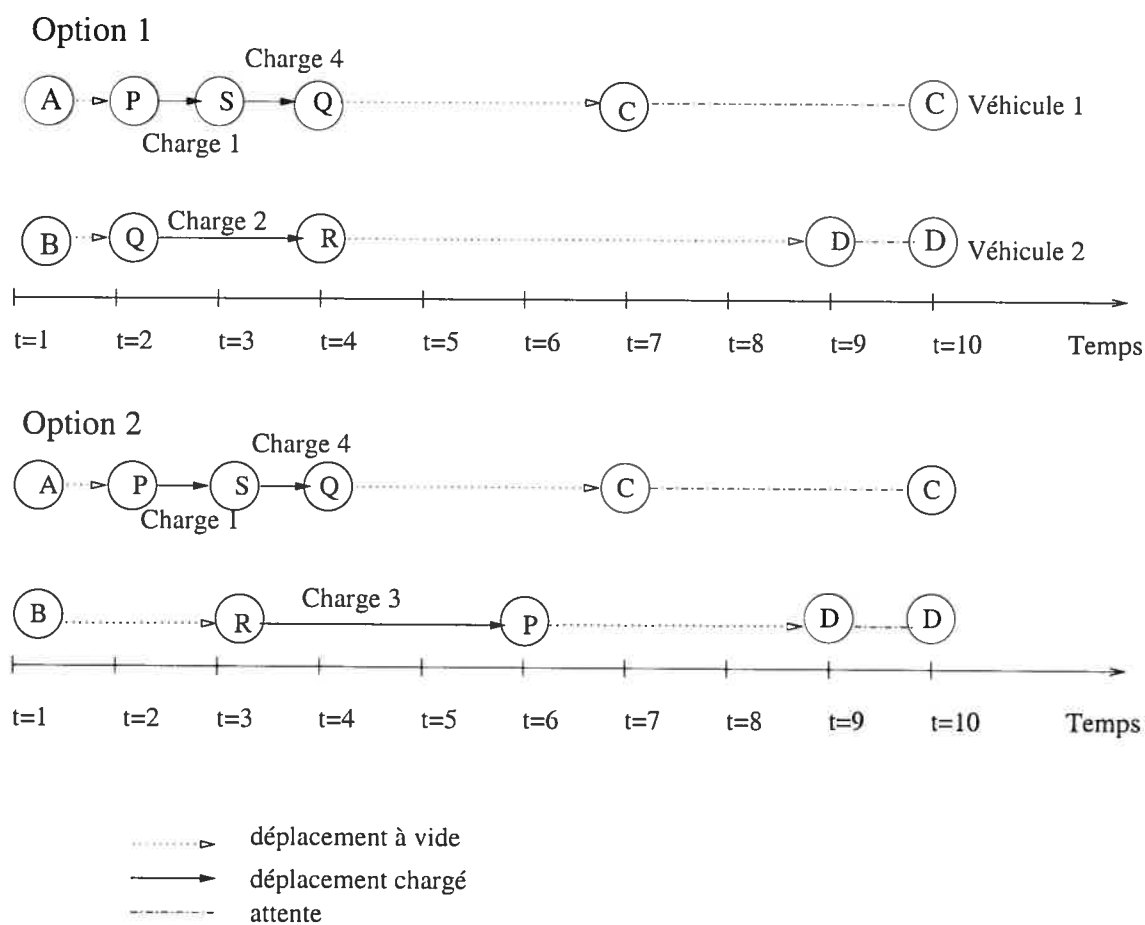


FIG. 3.6 – Les possibilités de mise pour les deux véhicules

Comme les enchères se déroulent en plusieurs tournées, le transporteur va refaire son analyse dans le cas où il n'est pas le gagnant provisoire.

En regardant seulement ce petit exemple, nous nous rendons compte de la complexité requise par une analyse d'un cas d'une compagnie qui devrait gérer une flotte plus grande et dans laquelle chaque véhicule est caractérisé par ses propres paramètres. Donc, nous pouvons conclure que la conception des aviseurs indépendants est absolument nécessaire pour aider les transporteurs dans la gestion de leur flotte de véhicule.

Chapitre 4

Marché périodique

4.1 Aviseur indépendant pour un marché périodique - problématique

L'aviseur indépendant pour le marché périodique est conçu pour une entreprise de camionnage qui possède une flotte de véhicules qu'elle utilise dans certaines régions avec certaines restrictions. Une partie de cette flotte doit se rendre à un moment préétabli dans des endroits prédéterminés, mais elle sera disponible durant un laps de temps dans certaines localisations. Ces véhicules pourraient se déplacer à vide entre leurs positionnements initiaux et finaux, mais aussi ils peuvent être utilisés pour transporter des charges. L'aviseur indépendant aura la responsabilité de choisir les charges qui lui conviennent le mieux et qui seront les plus rentables pour la gestion de cette partie de la flotte de véhicules.

Chaque véhicule peut transporter une seule charge et il ne peut être utilisé de nouveau que lorsque la marchandise a été livrée à sa destination. Chaque ordre de transport est caractérisé par un temps d'exécution. Si ce temps ne correspond pas au temps de disponibilité des véhicules, alors la compagnie ne peut exécuter cet ordre. Dans cette étude, il y a donc un revenu généré par l'acceptation d'un ordre mais aussi un coût pour chaque transport à vide. Les ordres de transport disponibles sur le marché contiennent des informations explicites sur les localisations spécifiques pour prendre ou livrer la marchandise. Une charge ne peut être affectée qu'à un seul véhicule.

Donc, le même véhicule exécute les tâches de chargement et déchargement pour un ordre. De plus, ces deux tâches doivent être exécutées dans la fenêtre de temps qui caractérise chacune d'entre elles. Par conséquent, tout chemin potentiel qui rend possible l'exécution de ces tâches doit satisfaire aux contraintes de temps imposées par le temps de disponibilité et d'arrivée, tant pour les véhicules que pour les charges.

Bref, il faut trouver une politique qui spécifie les décisions de mises, l'affectation des ordres aux véhicules et la séquence des ordres qui seront attribués dans le but de maximiser le profit total obtenu par l'utilisation de la flotte de véhicules.

Nous supposons dans ce mémoire que les demandes de transport que les entreprises de camionnage voudraient satisfaire se trouvent sur un seul marché et le transporteur peut faire des mises individuelles et séquentielles. Il a le droit de choisir un ou plusieurs ordres comme objet de sa mise, mais ceux-ci seront toujours indépendants. Le type des enchères sera basé sur *le prix ascendant* (section 2.3). Les enchères se déroulent donc en plusieurs rondes. Après chaque ronde, le gagnant provisoire pour chaque mise est connu. Dans la ronde suivante, les participants peuvent modifier ou retirer leur mise sur certains ordres, en fonction des résultats de la ronde précédente.

La liste des demandes de transport est disponible sur le marché avant que les enchères ne commencent. La compagnie qui participe à l'enchère dispose de la liste de véhicules qu'elle pourra utiliser au moment de la prise de décision concernant les mises qu'elle soumettra sur le marché.

Cette liste génère certaines contraintes découlant des caractéristiques de chaque véhicule : le type du véhicule (incluant les données sur sa capacité multidimensionnelle, les possibilités de substitution d'un type de capacité par un autre, le type de marchandise qu'il peut transporter, la vitesse moyenne), la localisation de disponibilité, la localisation de destination finale, la fenêtre de temps de disponibilité et celle du temps requis pour atteindre sa destination. La localisation d'origine représente l'endroit où se trouve le véhicule quand il est considéré comme

disponible par le transporteur. La localisation de destination finale est le lieu où le véhicule doit se trouver à un certain moment établi par la compagnie en fonction de sa politique. Donc, chaque véhicule qui est disponible à un certain endroit à un certain moment et qui doit se rendre à un certain endroit à un certain moment peut être utilisé par le gérant de la flotte durant l'intervalle de temps déterminé par ces deux moments. Celui-ci doit décider s'il est plus rentable pour son entreprise de faire le transport entre deux points (la ville de départ et la ville de destination) à vide ou d'utiliser le marché électronique dans le but d'obtenir une charge pleine. Le gérant de la flotte de véhicules doit affecter efficacement des ordres de transport à chaque véhicule, tout en essayant de satisfaire aux contraintes imposées par l'expéditeur, ainsi qu'aux critères d'optimalité locale (le coût).

Dans ce contexte il est essentiel d'avoir une synchronisation entre le temps de disponibilité de l'ordre sur le marché, le temps de disponibilité du véhicule compatible avec le type de charge et aussi le moment de l'enchère.

Ensuite, en tenant compte du type de mise accepté sur le marché dans le contexte spatio-temporel où il se trouve, pour s'approcher du lieu de destination finale dans le délai de temps disponible, le transporteur a plusieurs possibilités : faire des transports à vide, faire de transports avec charges ou utiliser une combinaison de ces deux types de transport.

Pour déterminer le prix d'un ordre, le transporteur prend en considération plusieurs données : le coût fixe engendré par l'utilisation du véhicule, la durée du transport, la distance à parcourir ainsi que les divers facteurs de perturbation (bris mécaniques, congestion des routes) qui permettent l'accroissement du temps de transport. Pour établir le coût total, il est nécessaire de connaître le prix fixe d'une heure de transport et aussi le prix au kilomètre de déplacement. À partir de ce prix global de l'ordre, le gérant établit le profit désiré en pourcentage et aussi le profit minimal pour établir l'intervalle qui lui permet de proposer sa mise. La valeur effective de la mise sera déterminée en fonction de la stratégie utilisée pour chaque type d'enchère. En consultant la liste des ordres disponibles

sur le marché, si un certain ordre lui permet de se rapprocher de son point de destination pour un certain véhicule, alors le transporteur posera sa mise avant la fermeture de la période de soumission.

Par conséquent, l'aviseur indépendant pour le marché périodique sera celui qui puisera l'information sur les prix du marché et sur les frais à encourir à partir des commandes de transport pour faire ses recommandations qui tiennent compte des contraintes imposées par la situation spatio-temporelle de la flotte, dans le but de maximiser les bénéfices de chaque transporteur qui l'utilise.

4.1.1 Formulation

Dans ce problème spécifique (4.1), les principales caractéristiques physiques peuvent être regroupées de la manière suivante :

- Le transport effectué est un transport de marchandises où chaque charge a un poids et un type spécifiques.
- Le réseau de transport est constitué d'autoroutes et de routes nationales et internationales qui relient les villes entre lesquelles le transport des charges doit se faire.
- L'ensemble des véhicules disponibles se trouve dans des terminaux qui sont des garages de la compagnie de transport ou d'autres localisations connues par le transporteur. De plus, les véhicules doivent atteindre certains terminaux. Le temps de disponibilité ainsi que le temps d'arrivée sont propres à chaque véhicule.
- L'ensemble des localisations pour charger ou décharger la marchandise est constitué de villes faisant partie du réseau de transport.
- L'ensemble de niveaux de services aux clients est donné par les fenêtres de temps concernant le chargement ou le déchargement.

- Les véhicules sont caractérisés par :
 - une localisation de disponibilité,
 - une localisation de destination,
 - un temps de disponibilité,
 - un temps pour atteindre la destination.

- Les ordres sont caractérisés par :
 - une localisation de disponibilité,
 - une localisation de destination,
 - une fenêtre de temps de disponibilité,
 - un temps où la charge doit arriver à la destination.

4.1.2 Modèle mathématique

Le réseau

Nous définissons un “*ordre*” comme étant une demande de transport d’une charge de son origine au lieu de sa destination qui satisfait certaines contraintes de temps. Les ordres sont disponibles sur le marché de fret et constituent des objets de mise pour la compagnie de transport qui participe aux enchères. Ces ordres forment une liste qui est utilisée par l’aviseur indépendant pour déterminer l’affectation optimale de la flotte de véhicules disponible pour le processus d’enchère.

Soit \mathcal{I} l’ensemble des ordres contenus dans cette liste, étiquetés i , $i = 1, 2, \dots, N$. Chaque charge correspondant à un tel ordre i a une origine o_i et une destination d_i .

Soit $\mathcal{O} = \{o_i \mid i \in \mathcal{I}\}$ l’ensemble de toutes les origines de ces charges et $\mathcal{D} = \{d_i \mid i \in \mathcal{I}\}$ l’ensemble de leurs destinations correspondantes.

L'exécution de chaque ordre $i, i \in \mathcal{I}$ commence à l'instant τ_i qui est situé dans une fenêtre de temps $[a_i, b_i]$. Cette fenêtre de temps représente l'intervalle de temps dans lequel le chargement doit commencer. Soit $\sigma_{o_i d_i}$ la durée de l'exécution de l'ordre i , qui représente le temps du chargement et le temps du transport jusqu'à la destination de la charge correspondante à cet ordre. Donc, chaque origine $o_i, i \in \mathcal{I}$ est caractérisée par un temps de début du chargement $\tau_i, a_i \leq \tau_i \leq b_i$. Si $\sigma_{d_i o_j}$ représente le temps de parcours de la distance entre la destination de la charge correspondante à l'ordre i, d_i , et l'origine du suivant j, o_j , alors cette origine sera atteinte au temps $\tau_i + \sigma_{o_i d_i} + \sigma_{d_i o_j}$.

Notons $\tilde{\mathcal{A}} = \{(o_i, d_i) \mid i \in \mathcal{I}\}$, l'ensemble des arcs des ordres. Toutes les ordres qui pourraient être exécutés après un ordre $i \in \mathcal{I}$ forment un autre ensemble, les successeurs :

$$\mathcal{I}^+(i) = \{j \in \mathcal{I} \mid b_j \geq a_i + \sigma_{o_i d_i} + \sigma_{d_i o_j}\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

De façon analogue, les prédécesseurs d'un ordre i forment l'ensemble :

$$\mathcal{I}^-(i) = \{j \in \mathcal{I} \mid b_i \geq a_j + \sigma_{o_j d_j} + \sigma_{d_j o_i}\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

En même temps, nous disposons d'un ensemble \mathcal{K} de véhicules qui pourraient être utilisés pour exécuter les ordres $i, i \in \mathcal{I}$ après avoir gagné les mises proposées par l'aviseur indépendant. Le véhicule $k \in \mathcal{K}$ est disponible dans le réseau au temps T_{DEB}^k à la localisation s_k . Il doit se rendre à la destination finale t_k au temps T_{FIN}^k .

Nous pouvons définir maintenant $\mathcal{S} = \{s_k \mid k \in \mathcal{K}\}$ et $\mathcal{T} = \{t_k \mid k \in \mathcal{K}\}$ comme étant les ensembles des sommets initiaux, respectivement terminaux pour tous les camions disponibles. Si nous considérons seulement les camions qui satisfont aux contraintes de temps pour l'exécution d'un ordre tout en respectant les conditions de leur disponibilité, alors nous avons les deux ensembles suivants :

- l'ensemble de tous les sommets initiaux à partir desquels les véhicules peuvent partir et atteindre l'origine d'une charge en temps requis :

$$\mathcal{S}_i = \{s_k \in \mathcal{S} \mid a_i \geq T_{DEB}^k + \sigma_{s_k o_i}\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

et

- l'ensemble de tous les terminaux auxquels les véhicules peuvent se rendre en temps requis :

$$\mathcal{T}_i = \{t_k \in \mathcal{T} \mid b_i + \sigma_{o_i d_i} + \sigma_{d_i t_k} \leq T_{FIN}^k\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

où $\sigma_{s_k o_i}$ représente le temps requis pour parcourir la distance entre la localisation initiale du véhicule k , s_k , et l'origine de la charge correspondante à l'ordre i , o_i . De façon analogue, $\sigma_{d_i t_k}$ représente le temps requis pour parcourir la distance entre la destination de la charge correspondante à l'ordre i , d_i , et la destination finale du véhicule k , t_k . En utilisant ces deux dernières relations, nous avons l'ensemble des camions disponibles pour effectuer l'ordre $i \in \mathcal{I}$:

$$\mathcal{K}_i = \{k \in \mathcal{K} \mid s_k \in \mathcal{S}_i \text{ et } t_k \in \mathcal{T}_i\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

Les véhicules qui appartiennent à cet ensemble peuvent donc exécuter au moins un ordre et ensuite se rendre à leur destination finale.

Notons que, en général (voir [24] et [23]), un ordre peut être éliminé dans le réseau par les contraintes temporelles : $a_i + \sigma_{o_i d_i} > b_j$, pour $i \in \mathcal{I}$ et $j \in \mathcal{I}^+(i)$.

Pour exécuter un ordre, le camion doit se déplacer de son nœud initial à l'origine de la charge et ensuite vers la destination de celle-ci. Pour l'opération suivante, le véhicule se déplace de la destination d'ordre vers l'origine de la suivante ou vers son propre terminal. Par conséquent, nous avons des déplacements à vide qui peuvent relier les nœuds du réseau entre eux. Définissons alors l'ensemble de tout déplacement sans charge possible :

$$\overline{\mathcal{A}}_1 = \{(d_i, o_j) \mid i \in \mathcal{I}, j \in \mathcal{I}^+(i)\}.$$

$$\overline{\mathcal{A}}_2 = \{(s_k, o_i) \mid i \in \mathcal{I}, s_k \in \mathcal{S}_i\}.$$

$$\overline{\mathcal{A}}_3 = \{(d_i, t_k) \mid i \in \mathcal{I}, t_k \in \mathcal{T}_i\}.$$

$$\overline{\mathcal{A}}_4 = \{(s_k, t_k) \mid k \in \mathcal{K}\}.$$

En utilisant ces notations, nous définissons le graphe $\mathcal{G} = (\mathcal{N}, \mathcal{A})$, où :

$$\mathcal{N} = \mathcal{O} \cup \mathcal{D} \cup \mathcal{S} \cup \mathcal{T}.$$

représente les nœuds du réseau et \mathcal{A} , les arcs qui relient les nœuds.

$$\mathcal{A} = \tilde{\mathcal{A}} \cup \overline{\mathcal{A}}_1 \cup \overline{\mathcal{A}}_2 \cup \overline{\mathcal{A}}_3 \cup \overline{\mathcal{A}}_4.$$

Pour simplifier les notations, soit :

$$\overline{\mathcal{A}} = \overline{\mathcal{A}}_1 \cup \overline{\mathcal{A}}_2 \cup \overline{\mathcal{A}}_3 \cup \overline{\mathcal{A}}_4.$$

Ce réseau est formé donc des nœuds de type origine o_i et destination d_i des charges et des nœuds de type origine initiale s_k et destination finale t_k des véhicules. Les arcs du réseau peuvent être classifiés dans cinq catégories : origine véhicule - origine charge, origine charge - destination charge, destination charge - origine charge suivante, origine véhicule - destination véhicule et destination charge - destination véhicule.

Un voyage dans le réseau peut couvrir un ordre, plusieurs ordres ou aucun ordre. Dans le premier cas, le véhicule se déplace de sa localisation initiale à l'endroit de chargement correspondant à l'ordre respectif où on recueille la marchandise. Ensuite le véhicule se dirige directement vers la destination de la charge. Finalement, le véhicule part vers sa localisation finale. Dans le cas de plusieurs ordres, le transporteur effectue des séquences origine-destination en commençant par la localisation initiale du véhicule et en finissant par sa localisation finale. Il est possible que certains déplacements se fassent à vide.

À l'exécution d'un ordre $i \in \mathcal{I}$ nous attribuons un profit p_i correspondant à un déplacement du camion chargé qui l'exécute. Si un déplacement dans le réseau se fait sans charge, alors le coût sera $c_a, a \in \overline{\mathcal{A}}$. Si aucun ordre n'est exécuté, le

véhicule se déplace à vide de sa localisation initiale à sa localisation finale.

La Figure 4.1 donne une représentation simple du réseau utilisé dans ce modèle. Les nœuds s_1, s_2, \dots, s_n représentent les localisations initiales des véhicules, les nœuds o_1, o_2, \dots, o_N sont les origines des charges correspondantes aux ordres et d_1, d_2, \dots, d_N les destinations de celles-ci. Les localisations finales de véhicules sont t_1, t_2, \dots, t_n . Nous avons utilisé les notations o_{jp}, d_{jp} pour l'origine et la destination d'une charge correspondante à un ordre jp qui précède l'ordre i et donc appartient à l'ensemble $\mathcal{I}^-(i)$ et les notations o_{js}, d_{js} pour l'origine et la destination d'une charge correspondante à un ordre js qui suit l'ordre i et donc appartient à l'ensemble $\mathcal{I}^+(i)$. En fonction de son type l'arc du réseau peut être parcouru à plein (origine charge - destination charge) ou à vide (origine véhicule - origine charge, destination charge - origine charge suivante, origine véhicule - destination véhicule et destination charge - destination véhicule).

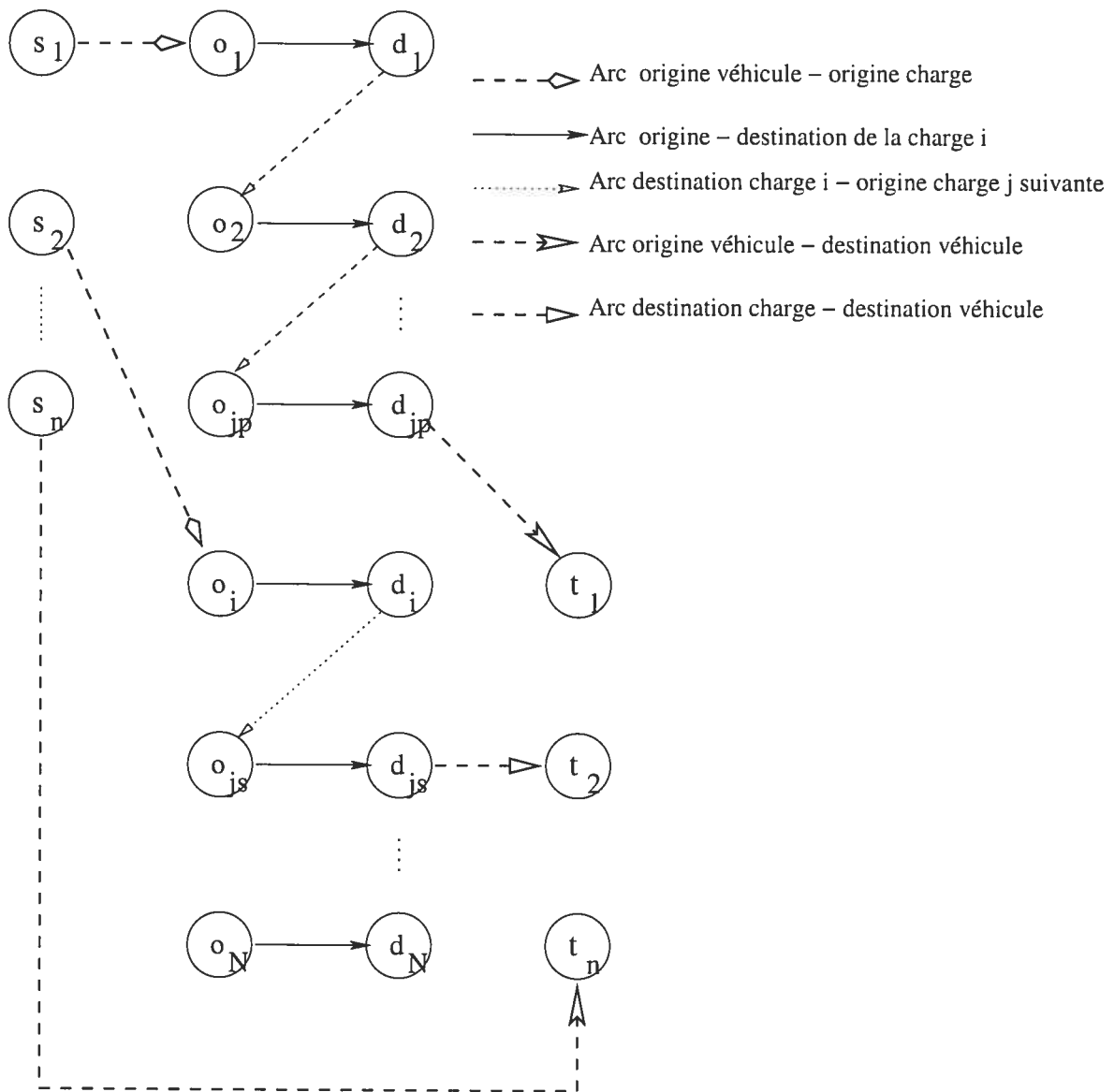


FIG. 4.1 – Le réseau

Les variables de décision

Nous avons deux types de variables de décision :

- la variable d'affectation $x = [..., x_i^k, ...]$, $\forall i \in \mathcal{I}$ et $k \in \mathcal{K}$, qui est utilisée pour affecter un véhicule à un ordre.
- la variable de repositionnement $y = [..., y_a^k, ...]$, $\forall a \in \overline{\mathcal{A}}$ et $k \in \mathcal{K}$, qui est utilisée pour déplacer un véhicule d'une localisation à la prochaine.

Pour $\forall i \in \mathcal{I}$ et $k \in \mathcal{K}$, soit

$$x_i^k = \begin{cases} 1 & \text{si l'ordre } i \text{ est exécuté par le véhicule } k, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4.1)$$

Pour $\forall a \in \overline{\mathcal{A}}$ et $k \in \mathcal{K}$, soit

$$y_a^k = \begin{cases} 1 & \text{si l'arc } a \text{ est utilisé par le véhicule } k \text{ dans son déplacement,} \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4.2)$$

Comme a est un arc du réseau, nous utiliserons les notations suivantes, qui indiquent quel type de lien existe entre les nœuds.

Pour $a \in \overline{\mathcal{A}}_1$, donc $a = (d_i, o_j)$ nous avons la variable y_{ij} ,

pour $a \in \overline{\mathcal{A}}_2$, donc $a = (s_k, o_i)$ la variable $y_{s_k i}$,

pour $a \in \overline{\mathcal{A}}_3$, donc $a = (d_i, t_k)$ la variable $y_{i t_k}$,

et pour $a \in \overline{\mathcal{A}}_4$ donc $a = (s_k, t_k)$ la variable $y_{s_k t_k}$.

Nous avons aussi les variables de temps, τ_i , $a_i \leq \tau_i \leq b_i$ qui représentent l'instant de début de l'exécution de chaque ordre i , $\forall i \in \mathcal{I}$.

Fonction objectif

La fonction objectif calcule le profit total des trajets effectués par les véhicules disponibles dans la liste des disponibilités pour se rendre à leur destination finale.

$$f(x, y) = \sum_{i \in \mathcal{I}} \sum_{k \in \mathcal{K}_i} p_i x_i^k - \sum_{a \in \overline{\mathcal{A}}} \sum_{k \in \mathcal{K}} c_a y_a^k \quad (4.3)$$

Le modèle

L'objectif du problème est de maximiser le profit total généré par la gestion de la flotte de véhicules disponibles :

$$\max_{x,y,\tau} f(x,y) \quad (4.4)$$

sujet aux contraintes suivantes :

Contraintes physiques :

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} x_i^k \leq 1 \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (4.5)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{I}^-(i)} y_{ji}^k + y_{s_k i}^k = x_i^k \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad \forall k \in \mathcal{K}_i \quad (4.6)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{I}^+(i)} y_{ij}^k + y_{i t_k}^k = x_i^k \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad \forall k \in \mathcal{K}_i \quad (4.7)$$

$$\sum_{\{i \in \mathcal{I} \mid k \in \mathcal{K}_i\}} y_{s_k i}^k + y_{s_k t_k}^k = 1 \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.8)$$

$$\sum_{\{i \in \mathcal{I} \mid k \in \mathcal{K}_i\}} y_{i t_k}^k + y_{s_k t_k}^k = 1 \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.9)$$

Contraintes de temps :

$$y_{ij}^k = 1 \Rightarrow \tau_i + \sigma_{o_i d_i} + \sigma_{d_i o_j} \leq \tau_j, \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad \forall j \in \mathcal{I}^+(i), \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.10)$$

$$y_{s_k j}^k = 1 \Rightarrow T_{DEB}^k + \sigma_{s_k o_j} + \sigma_{o_j d_j} \leq \tau_j, \quad \forall j \in \mathcal{I}, \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.11)$$

$$y_{it_k}^k = 1 \Rightarrow \tau_i + \sigma_{o_i d_i} + \sigma_{d_i t_k} \leq T_{FIN}^k, \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.12)$$

$$a_i \leq \tau_i \leq b_i, \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (4.13)$$

Contraintes d'intégralité :

$$x_i^k \in \{0, 1\} \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.14)$$

$$y_a^k \in \{0, 1\} \quad \forall a \in \overline{\mathcal{A}} \text{ et } \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.15)$$

Les conditions (4.10) à (4.12) peuvent être linéarisées en utilisant M , une très grande constante, de la manière suivante :

$$M(1 - y_{ij}^k) + \tau_j \geq \tau_i + \sigma_{o_i d_i} + \sigma_{d_i o_j}, \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad \forall j \in \mathcal{I}^+(i), \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.16)$$

$$M(1 - y_{s_k j}^k) + \tau_j \geq T_{DEB}^k + \sigma_{s_k o_j} + \sigma_{o_j d_j}, \quad \forall j \in \mathcal{I}, \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.17)$$

$$M(1 - y_{it_k}^k) + T_{FIN}^k \geq \tau_i + \sigma_{o_i d_i} + \sigma_{d_i t_k}, \quad \forall i \in \mathcal{I}, \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.18)$$

Dans la contrainte de capacité (4.5) un ordre peut être exécuté seulement par un camion ou par aucun . Les relations (4.6 - 4.9) sont les contraintes de conservation de flot tant pour les nœuds intermédiaires o_i, d_i que pour les nœuds initiaux s_k et finaux t_k .

La contrainte (4.10) permet à l'ordre j d'être exécuté après l'ordre i . (4.11) et (4.12) imposent des conditions sur les variables de temps, tel que le premier ordre soit exécuté après le départ de véhicule de son dépôt initial, respectif le dernier ordre soit exécuté avant l'arrivée à la destination finale du véhicule. (4.13) donne la condition que l'exécution de l'ordre puisse commencer dans la fenêtre de temps de sa disponibilité.

Les deux dernières équations (4.14) et (4.15) déterminent le domaine de définition des variables.

Le modèle crée donc des combinaisons des charges, détermine leur séquence et les affecte aux véhicules de telle manière que le profit sur le transport soit maximum, tout en respectant les contraintes de temps.

4.1.3 Formulation simplifiée

Nous avons vu dans la section 4.1.2 un réseau formé des nœuds de type origine o_i et destination d_i des charges qui correspondent à l'ordre i , des nœuds origine s_k et destination t_k des véhicules et les arcs correspondants qui peuvent être classifiés dans cinq catégories : origine véhicule - origine charge, origine charge - destination charge, destination charge - origine charge suivante, origine véhicule - destination véhicule et destination charge - destination véhicule.

Pour simplifier ce réseau, nous pouvons considérer un seul nœud pour chaque charge, donc les nœuds seront maintenant les ordres i , $i \in \mathcal{I}$, et on garde s_k , t_k comme origine de départ, respectivement destination finale des véhicules. Les arcs de types origine charge - destination charge disparaîtront, étant remplacés par les nœuds "ordres". Nous avons aussi les arcs de type origine véhicule - ordre, ordre - ordre suivant, origine véhicule - destination véhicule, ordre - destination véhicule.

Quand le véhicule se déplace à vide (sur les arcs du réseau de type origine véhicule - destination véhicule, ou ordre - destination véhicule), alors le coût du déplacement est \bar{c}_a . Si le véhicule se dirige de son origine vers le nœud correspondant à un ordre ou d'un ordre à un autre ordre (pour les arcs du réseau de type origine véhicule - ordre ou ordre - ordre suivant), alors il aura un profit $p_i - \bar{c}_a$. Dans ce réseau simplifié, p_i a la même signification que dans le réseau initial, le profit obtenu suite à l'exécution d'un ordre i et \bar{c}_a est une restriction de c_a , $a \in \mathcal{A}$.

Nous obtiendrons un graphe simplifié comme dans la Figure 4.2.

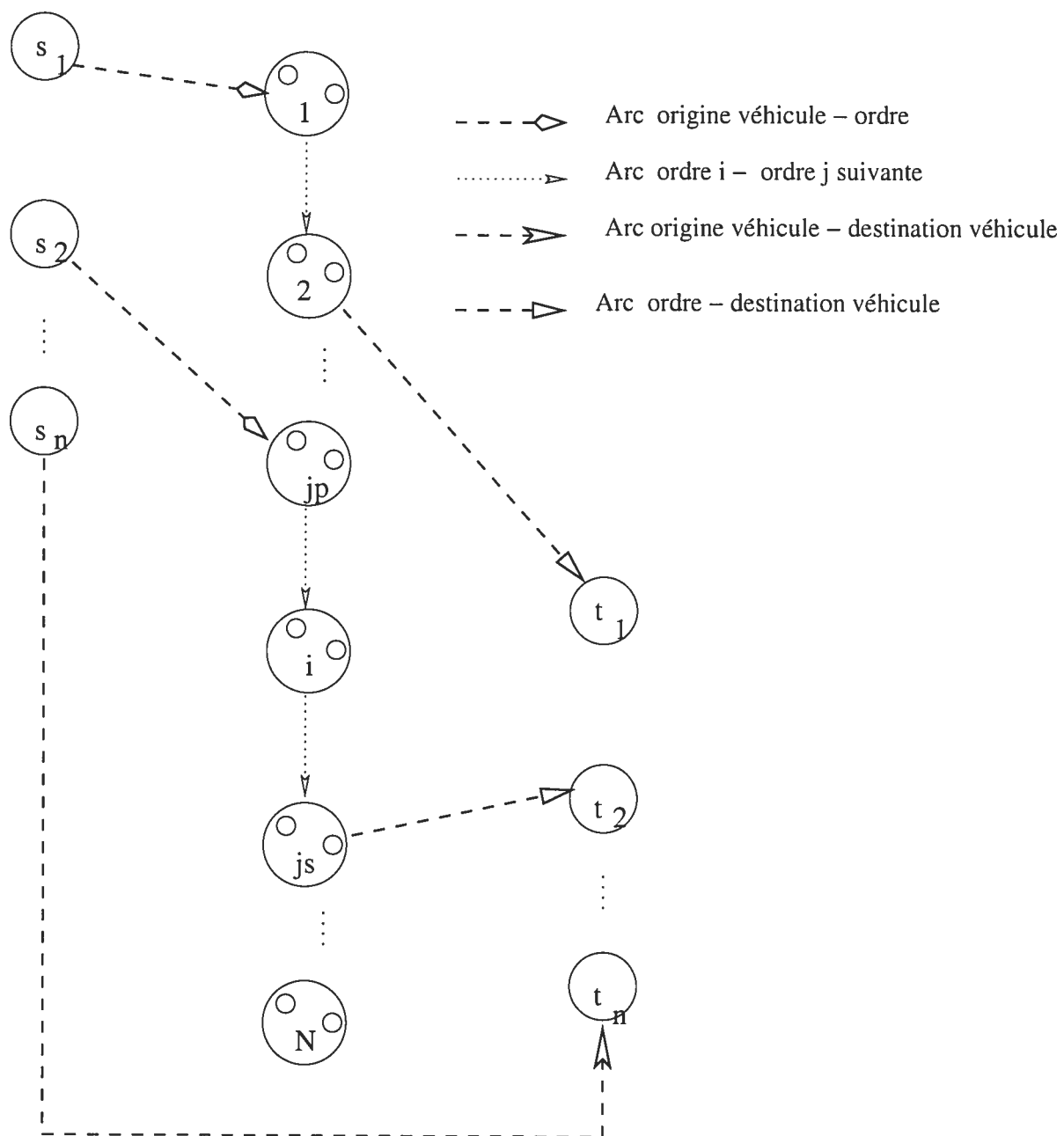


FIG. 4.2 – Le réseau modifié

Dans ce nouveau contexte, étant donné que o_i et d_i représente maintenant un seul nœud i (ordre), nous définissons :

- la durée de l'exécution de l'ordre i , $i \in \mathcal{I}$: $\sigma_{o_i d_i} = \theta_i$
- la durée du déplacement du véhicule d'un ordre i au suivant, j , $\sigma_{d_i o_j} = \theta_{ij}$ et
- la durée du déplacement du véhicule du terminal s_k à un ordre i ou d'un ordre i au terminal t_k , $\sigma_{s_k o_j} = \theta_{s_k j}$ respectif, $\sigma_{d_i t_k} = \theta_{it_k}$.

$$\mathcal{I}^+(i) = \{j \in \mathcal{I} \mid b_j \geq a_i + \theta_i + \theta_{ij}\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

De façon analogue, les prédécesseurs d'un ordre i forment l'ensemble :

$$\mathcal{I}^-(i) = \{j \in \mathcal{I} \mid b_i \geq a_j + \theta_j + \theta_{ji}\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

$$\mathcal{A}_1 = \{(i, j) \mid i \in \mathcal{I}, j \in \mathcal{I}^+(i)\}$$

$$\mathcal{A}_2 = \{(s_k, i) \mid i \in \mathcal{I}, s_k \in \mathcal{S}_i\}$$

$$\mathcal{A}_3 = \{(i, t_k) \mid i \in \mathcal{I}, t_k \in \mathcal{T}_i\}$$

$$\mathcal{A}_4 = \{(s_k, t_k) \mid k \in \mathcal{K}\}$$

Soit \mathcal{A}' l'ensemble des arcs du réseau :

$$\mathcal{A}' = \mathcal{A}_1 \cup \mathcal{A}_2 \cup \mathcal{A}_3 \cup \mathcal{A}_4$$

Les nœuds s_1, s_2, \dots, s_n représentent les localisations initiales des véhicules, les nœuds $1, 2, \dots, N$ sont des ordres. Les localisations finales de véhicules sont t_1, t_2, \dots, t_n . Nous avons utilisé la notation jp pour un ordre qui précède l'ordre i et donc appartient à l'ensemble $\mathcal{I}^-(i)$ et la notation js pour un ordre qui suit l'ordre i et donc appartient à l'ensemble $\mathcal{I}^+(i)$. Les arcs du réseau sont parcourus à vide (origine véhicule - ordre, ordre - ordre suivant, origine véhicule - destination véhicule et ordre - destination véhicule). Le déplacement à plein se déroule à l'intérieur des nœuds i (ordres) et chaque fois que le véhicule se dirige vers un nœud i il va avoir un profit, $p_i - \bar{c}_a$, suite à l'exécution de cet ordre. Les nœuds du réseau sont donc, les sources des camions, $\mathcal{S} = \{s_k \mid k \in \mathcal{K}\}$, les terminaux

des véhicules, $\mathcal{T} = \{t_k \mid k \in \mathcal{K}\}$, ainsi que les ordres, \mathcal{I} . Donc, l'ensemble des nœuds du réseau sera :

$$\mathcal{N}' = \mathcal{I} \cup \mathcal{S} \cup \mathcal{T}$$

Également, nous gardons la même définition pour l'ensemble des camions qui peuvent exécuter la ordre i , \mathcal{K}_i , mais avec la nouvelle notation elles deviendront :
- l'ensemble de tous les sommets initiaux à partir desquels les véhicules peuvent partir et atteindre l'origine d'une charge en temps requis :

$$\mathcal{S}_i = \{s_k \in \mathcal{S} \mid a_i \geq T_{DEB}^k + \theta_{s_k i}\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

et

- l'ensemble de tous les terminaux auxquels les véhicules peuvent se rendre en temps requis :

$$\mathcal{T}_i = \{t_k \in \mathcal{T} \mid b_i + \theta_i + \theta_{it_k} \leq T_{FIN}^k\} \quad \forall i \in \mathcal{I}.$$

La variable y_a^k , est définie maintenant sur tout l'ensemble \mathcal{A}' . y_a^k aura la valeur 1 si l'arc a est parcouru par le véhicule k . Quand un camion k exécute la ordre i , il prend l'arc y_a^k avec un profit $p_i - \bar{c}_a$. Dans le cas contraire, l'arc aura le coût \bar{c}_a . Finalement, nous avons la formulation suivante sur ce réseau modifié (Figure 4.2) :

$$\max_{y, \tau} \sum_{\{i \in \mathcal{I} \mid a \in \mathcal{A}_1 \cup \mathcal{A}_2\}} \sum_{k \in \mathcal{K}_i} (p_i - \bar{c}_a) y_a^k - \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{a \in \mathcal{A}_3 \cup \mathcal{A}_4} \bar{c}_a y_a^k \quad (4.19)$$

sous les contraintes :

$$\sum_{k \in \mathcal{K}} y_a^k \leq 1 \quad \forall a \in \mathcal{A}_1 \quad (4.20)$$

$$\sum_{j \in \mathcal{I}^-(i)} y_{ji}^k + y_{s_k i}^k = \sum_{j \in \mathcal{I}^+(i)} y_{ij}^k + y_{it_k}^k \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad \forall k \in \mathcal{K}_i \quad (4.21)$$

$$\sum_{\{i \in \mathcal{I} \mid k \in \mathcal{K}_i\}} y_{s_k i}^k + y_{s_k t_k}^k = 1 \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.22)$$

$$\sum_{\{i \in \mathcal{I} \mid k \in \mathcal{K}_i\}} y_{it_k}^k + y_{s_k t_k}^k = 1 \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.23)$$

$$y_{ij}^k = 1 \Rightarrow \tau_i + \theta_i + \theta_{ij} \leq \tau_j, \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad \forall j \in \mathcal{I}^+(i), \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.24)$$

$$y_{s_k j}^k = 1 \Rightarrow T_{DEB}^k + \theta_{s_k j} + \theta_j \leq \tau_j, \quad \forall j \in \mathcal{I}, \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.25)$$

$$y_{it_k}^k = 1 \Rightarrow \tau_i + \theta_i + \theta_{it_k} \leq T_{FIN}^k, \quad \forall i \in \mathcal{I}, \quad \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.26)$$

$$a_i \leq \tau_i \leq b_i, \quad \forall i \in \mathcal{I} \quad (4.27)$$

$$y_a^k \in \{0, 1\} \quad \forall a \in \mathcal{A}' \text{ et } \forall k \in \mathcal{K} \quad (4.28)$$

4.2 Résolution et enjeux

Ce type de problème est une extension du Problème de Tournées de Véhicules avec Fenêtre de Temps (PTVFT) qui est “NP-difficile” dans le sens fort. En effet, même le simple fait de trouver une solution réalisable pour PTVFT avec un nombre fixé de véhicules rend le problème “NP-complet” ([53]). En général, dans le problème classique de PTVFT, tous les véhicules ont le même dépôt de départ et le même dépôt d’arrivée. Dans notre problème spécifique, chaque véhicule a son propre dépôt de départ et son propre dépôt d’arrivée. De plus, chacun de ces dépôts est caractérisé par un temps départ et un temps d’arrivée. Donc, pour chaque véhicule nous trouverons une route qui a les caractéristiques suivantes :

- chaque route commence au dépôt de départ et finit au dépôt d’arrivée en respectant les conditions de temps.
- un ordre correspondant à une charge à transporter appartient à une seule route.
- la durée totale de voyage sur chaque route ne doit pas excéder le temps affecté pour chaque véhicule, soit la différence entre le temps d’arrivée du véhicule au dépôt final moins temps de départ du véhicule du dépôt initial.
- l’exécution de chaque ordre se fait dans la fenêtre de temps dans laquelle la charge est disponible.

Étant donné la complexité et la grande taille de ce type de problème, de nombreux d’algorithmes exacts et de méthodes heuristiques ont été développés dans la littérature.

Typiquement, l’optimisation de ces problèmes se base sur le principe de *l’énumération implicite : la séparation et l’évaluation progressive* (“branch-and-bound”). L’un des approches de cette technique, l’approche par *partitionnement d’ensembles* qui utilise la *génération des colonnes* pour résoudre une relaxation continue du problème et ensuite le “branch-and-bound” pour obtenir l’intégralité, a été développé par Desrochers, Desrosiers et Solomon [22].

Le problème peut être reformulé comme un problème de partitionnement d’en-

sembles avec des variables (colonnes) correspondant aux trajets réalisables pour chacun des véhicules considérés. On se base sur deux structures : un problème principale et un sous-problème.

Chaque trajet réalisable est obtenu en trouvant les solutions des sous-problèmes relaxés correspondants. L'ensemble de ces trajets réalisables contient donc les chemins de chacun des véhicules qui partent de leur dépôts d'origine, exécutent ensuite un ou plusieurs ordres et arrivent à leur dépôts de destination dans les contraintes de temps correspondantes aux ordres et aux véhicules. Chaque solution du problème principal est une combinaison convexe non-négative ces chemins.

Le problème initial est équivalent à ce problème, mais sa relaxation continue, non, à cause du fait que dans la dernière formulation les variables sont restreintes aux trajets réalisables dans lesquels chaque ordre est inclus ou non. Toute solution du problème relaxé est une solution pour le problème initial, mais pas vice versa. À cause de la cardinalité de l'ensemble des trajets, le problème relaxé ne peut pas être solutionné directement. Pour déterminer une solution de ce problème on peut utiliser la méthode de *génération de colonnes*. L'idée clé de cette procédure de génération de colonnes est de jamais utiliser toutes les colonnes du problème, mais de générer seulement celles dont on a besoin. Chaque nouvelle colonne est générée par la résolution du sous-problème approprié. Si son coût marginal est négatif, alors on l'ajoute au problème linéaire, le problème est de nouveau optimisé et la génération de colonnes est de nouveau appliquée. Si non, la solution du problème linéaire est optimale. La fonction objectif du sous-problème a des coefficients qui dépendent des valeurs de la variable duale π_i , $i \in \mathcal{I}$ correspondante à la relaxation continue du problème de partitionnement d'ensembles. Le problème principal est résolu ensuite en utilisant l'algorithme du simplexe. Cet algorithme donne les valeurs duales π_i qui sont nécessaires pour la génération des colonnes et permettent la re-optimisation chaque fois que une nouvelle colonne est généré. La solution trouvée par la génération des colonnes n'est pas nécessairement une solution entière.

Pour obtenir l'intégralité, on utilise les règles d'*évaluation progressive* pour exclure les solutions fractionnaires. Une possibilité pour obtenir cette intégralité des solutions est de faire un branchement sur les routes. Ce branchement divisera l'espace des solutions en deux sous-espaces en fonction du fait que la route choisie pour le branchement est ou non dans la solution.

Comme cette condition est très forte, on peut compenser par un branchement sur la plus grande variable fractionnaire.

Pour accélérer les méthodes de *partitionnement d'ensembles*, on utilise souvent une stratégie de *perturbation* qui va améliorer la convergence du simplexe.

Étant donné que les méthodes traditionnelles (méthode des coupes, séparation et évaluation progressive) sont prohibitives en termes de temps de calcul, les méthodes heuristiques peuvent être souvent utilisées pour résoudre des problèmes réels qui sont difficiles à résoudre de manière exacte comme dans notre cas. En utilisant les méthodes heuristiques, on troque la garantie d'optimalité contre l'espérance d'obtenir une solution de "bonne qualité" en temps "raisonnable". Elles nous permettent d'obtenir une solution approximative, mais qui a l'avantage de la vitesse, la flexibilité et la simplicité.

Solomon dans [56] a développé un algorithme de "construction des routes" séquentiel (une route à la fois) qui construit une solution réalisable en insérant à chaque itération un nouveau client dans le chemin courant. Potvin et Rousseau ([43]) reprennent ce type d'algorithme mais en considérant plusieurs chemins simultanément (en parallèle). Un autre type d'algorithme, "l'amélioration des routes" basé sur une méthode itérative qui permet la modification de la solution courante par la recherche d'une solution plus "efficace" dans un voisinage a été développé par Russell dans [49].

Ces méthodes utilisent donc deux approches bien connues : l'approche constructive (l'algorithme "glouton") et les méthodes d'approximation locale (méthode d'échanges du type r-opt ou Or-opt).

Dans les années soixante-dix et quatre-vingt de nouvelles méthodes métaheuristiques comme le recuit simulé, les algorithmes génétiques ou les méthodes de recherche avec tabous se sont ajoutées. Elles ne s'arrêtent pas à une solution locale optimale, mais elles explorent un sous-ensemble de l'espace des solutions dans l'espoir de trouver une solution plus "efficace".

Le recuit simulé, originalement dû à Metropolis et développé par Kirkpatrick en 1983 ([34]) est moins utilisé dans le Problème de Tournées de Véhicules avec Fenêtre de Temps (PTVFT) ou dans ses variantes possibles. Par contre, les deux autres ont été beaucoup utilisées. Un survol des algorithmes de recherche avec tabous ainsi que les algorithmes évolutionnistes (les algorithmes génétiques) pour le PTVFT est fait par Bräysy et Gendreau dans [16] et [15].

La méthode de recherche avec tabous a été introduite par Glover ([31]) pour la résolution des problèmes d'optimisation combinatoire et développée durant les années suivantes par Glover lui-même dans [32] et [33] et plus tard par Gendreau dans [29].

La recherche avec tabous est une méthode itérative qui explore l'espace des solutions à partir d'une solution initiale, en se déplaçant à chaque itération de la solution courante vers la meilleure solution dans le voisinage de celle-ci. Ce mécanisme rend la recherche avec tabous insensible à la rencontre des solutions optimales locales et introduit en même temps le risque de cyclage. Pour prévenir un tel cyclage, la méthode de recherche avec tabous utilise une liste tabou qui conserve des informations sur le cheminement récent effectué et interdit certaines transformations de la solution courante qui pourraient ramener la procédure vers des solutions déjà rencontrées.

Plusieurs approches de la méthode de recherche avec tabous pour le PTVFT ont été proposés en commençant par Garcia et al. ([28]) et ensuite Taillard et al. ([58]). Potvin et al. ([42]) développent une méthode de recherche avec tabous dans laquelle après la génération d'une solution initiale, ils appliquent une procédure d'échange pour un nombre prédéterminé d'itérations. L'échange enlève un client du chemin courant et l'insère dans la route d'un autre véhicule. À la fin de la

recherche, des changements dans la route avec la meilleure solution sont effectués par une post-optimisation qui utilise une méthode introduite par Gendreau et al. dans [30]

Notre problème peut être considéré comme une variante du problème PTVFT avec multi-dépôts. Ce problème a été étudié par Cordeau et Laporte dans [18]. Ils présentent une méthode de recherche avec tabou unifiée pour le cas multi-dépôts du problème de tournées de véhicules avec fenêtre de temps en prouvant sa supériorité en ce qui concerne la vitesse avec laquelle ils obtiennent une solution (approximative), par rapport aux autres alternatives traditionnelles.

Étant donné que cette méthode a été appliquée avec des bons résultats pour le PTVFT avec multi-dépôts, nous considérons que dans notre cas particulier elle pourrait aussi être utilisée en tenant compte de quelques caractéristiques particulières du problème.

Chapitre 5

Applications et extensions

5.1 Application au marché périodique

Les deux modèles développés dans la section 4.1 sont conçus en principe pour répondre aux besoins des transporteurs qui veulent participer aux enchères sur un marché électronique périodique. Ils doivent disposer d'une partie de la flotte de véhicules pour un intervalle de temps connu à l'avance. Les solutions du problème indiquent seulement quel choix de mises faire et à quel prix. En fonction de sa propre politique de planification tactique et opérationnelle, chaque transporteur établit son prix de réserve et le profit minimal désiré.

Ces deux modèles se situent dans un contexte idéalisé de la réalité. Toutes les charges disponibles sur le marché et tous les véhicules disponibles sont connus au préalable. En pratique, après chaque ronde, le transporteur peut perdre sa mise et il doit avoir une nouvelle liste de charges qui sont intéressantes pour lui afin de continuer les enchères. Par conséquent, le modèle doit être optimisé chaque fois que le participant perd une mise. La vitesse de calcul des solutions est donc essentielle pour pouvoir utiliser un aviseur basé sur ces modèles. Tant que le nombre de véhicules et de chemins entre les origines des charges et des camions ou entre leurs destinations n'est pas trop grand, les modèles sont utilisables même avec la solution la plus simple. Par contre, les choses se compliquent si nous pensons à l'utilisation de cette optimisation dans le cas d'un très grand nombre d'ordres, ce qui correspond tout à fait à la réalité sur les marchés électroniques.

Les hypothèses concernant le type d'enchère et de marché dans lesquels nous avons conçu notre aviseur indépendant pour le marché périodique sont les suivantes : les enchères sont individuelles et séquentielles et se déroulent en plusieurs rondes. Ces enchères ont lieu sur un seul marché et les charges qui font l'objet des mises sont homogènes. En tenant compte de ces caractéristiques, le type de négociation qui convient le mieux sera l'enchère basé sur le prix ascendant (enchère anglaise), qui donne au transporteur la possibilité de placer et modifier ses mises dans le but d'obtenir toutes les charges qui constituent le chemin construit par l'aviseur pour chaque véhicule disponible. Les négociations sont indépendantes étant donné que les mises sont simples et séquentielles.

5.2 Marché continu avec mises simples

Dans un marché continu, [9], les enchères sont organisées de manière progressive, ce qui donne aux participants le droit de faire une mise à jour de leur mise. L'allocation est asynchrone et il n'y a pas de spécification pour cette allocation. Durant la période de soumission des mises, l'activité d'enchère est suspendue pour une certaine période de temps.

Si nous analysons le comportement de l'aviseur indépendant sur ce type de marché de point de vue de sa fonction la plus importante pour nous (choisir les mises les plus efficaces pour le transporteur), nous constatons que les modèles mathématiques de la section 4.1 restent encore applicables dans le cas des mises simples. Notre aviseur indépendant a été en effet conçu pour les enchères en plusieurs rondes où à la fin de chaque ronde le gagnant provisoire est connu. Mais, comme il travaille à partir des listes des demandes de transport disponibles sur le marché et des listes des véhicules disponibles, il est toujours possible de l'utiliser même dans le cas du marché continu avec des mises simples. En effet, il a déjà toutes les informations nécessaires pour optimiser l'utilisation des véhicules de la liste de disponibilités. La difficulté consiste dans le potentiel de l'interaction avec

le marché. Il doit être capable de faire une nouvelle ré-optimisation chaque fois qu'il y a une période de soumission, quand le marché n'a pas des activités.

En même temps, ce type de marché est plus complexe en ce qui concerne ses principales activités : le processus d'ordre (l'initialisation), la génération de prix (compétition) et l'adjudication. En conséquence, la construction des listes de disponibilités ou d'ordres nécessaires à chaque ré-optimisation devient une tâche assez délicate. Dans ce cas, le transporteur aura besoin de connaître les solutions de l'optimisation très vite. Par conséquent, une optimisation qui obtient des résultats très vite même si elle ne donne la solution exacte est souhaitable. C'est donc le contexte idéal pour utiliser les méthodes heuristiques qui sont plus rapides et plus efficaces dans la situation décrite.

5.3 Mises combinatoires

Si nous considérons une évaluation des charges par route, nous obtenons un seul prix global pour toutes les charges qui forment le chemin de chaque véhicule de son point de départ jusqu'à sa destination finale. Ce prix global pour plusieurs ordres disponibles sur le marché est équivalent dans le langage spécifique aux mécanismes de marché avec la notion d'enchère combinatoire.

Dernièrement, les enchères combinatoires sont de plus en plus utilisées surtout sur les marchés parallèles comme une alternative aux enchères simultanées ayant comme objet de la mise un seul charge (objet de la mise). Les enchères combinatoires sont des mécanismes d'enchères dans lesquels les participants (les transporteurs) ont le droit de placer des mises combinées sur une multitude des charges ([9]). Donc, ce type d'enchère permet au transporteur d'utiliser le résultat de l'optimisation faite par l'aviseur indépendant. Il peut prendre une combinaison de charges qui constituent les routes fournis par l'aviseur indépendant et les utiliser directement pour constituer des mises combinatoires. Cependant, dans cette situation, la valeur de la mise sera le prix de la route pour chaque véhicule et non

le prix cumulatif de tous ordres correspondant aux charges qui forment chacune des routes ([48]).

5.4 Marchés parallèles et hétérogènes

Pour obtenir toutes les charges suggérées par l'aviseur indépendant, il est possible (mais plus complexe) d'utiliser plusieurs marchés dont le fonctionnement est séquentiel ou en parallèle.

La figure 5.1 résume graphiquement le fonctionnement d'un marché parallèle en mettant en évidence le parallélisme entre les instants d'ouverture des différents marchés.

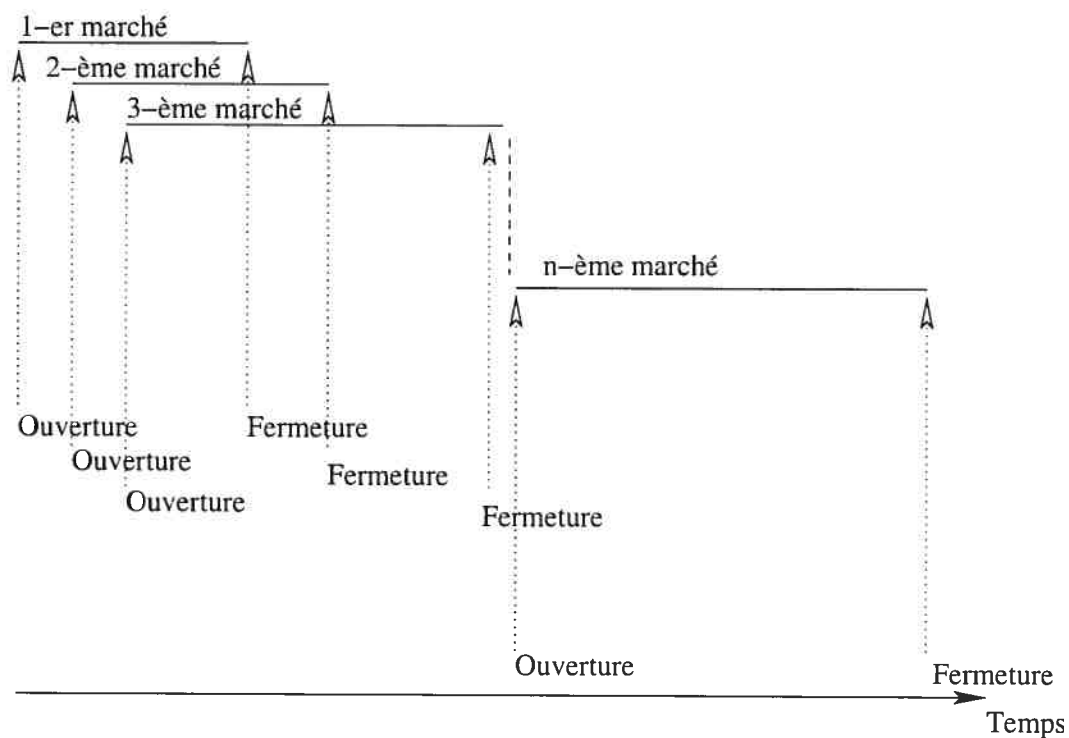


FIG. 5.1 – Fonctionnement du marché parallèle

Chacun de ces marchés fonctionne en rondes en respectant les règles décrites à la section 2.4. De plus, on peut choisir de transiger sur des marchés dont les mécanismes d'enchère sont différents. Par exemple, nous pourrions avoir des enchères hollandaises sur certains des marchés et des enchères anglaises sur d'autres. Ces hypothèses compliqueront évidemment la fonction de négociation de l'aviseur indépendant, mais de notre point de vue (l'évaluation des charges disponibles sur les marchés dans le but d'établir le choix optimal pour le transporteur) les modèles définis à la section 4.1 seront toujours applicables.

Chapitre 6

Conclusion

Dans les dernières années, les expéditeurs ainsi que les transporteurs se sont rendu compte de l'importance d'avoir des stratégies pour améliorer le niveau des services aux clients et réduire les coûts de transport de fret. Dans ce mémoire, nous avons adopté plutôt le point de vue du transporteur qui cherche par tous les moyens à minimiser ses coûts dans l'utilisation de ses véhicules.

Notre intérêt porte d'abord sur le design des mécanismes de négociation dans les marchés électroniques. Ensuite, nous avons analysé l'interaction de deux domaines importants : l'industrie du transport et le commerce électronique. Dans ce contexte, il s'est avéré essentiel de créer un outil - l'aviseur indépendant- qui aidera le transporteur dans son choix de mandats de transport disponibles sur un ou plusieurs marchés électroniques. En particulier, nous croyons que ces outils d'optimisation peuvent jouer un rôle important dans la perception de la négociation en ligne (i.e. enchère).

Nous avons conçu en premier lieu deux modèles d'optimisation pour le marché périodique qui donnent aux transporteurs l'aide nécessaire pour miser sur les offres le plus efficacement possible. Dans le cadre du marché continu, nous avons développé un autre modèle, un modèle dynamique, qui leur permettra l'obtention d'un rendement plus satisfaisant.

L'analyse de l'impact de ces modèles sur le contexte réel des marchés électroniques conduit à la conclusion que seulement un modèle très simple pourrait être d'une aide véritable. Nous pensons surtout aux petites compagnies qui doivent faire face à une très grande compétition de la part des grandes et des moyennes entreprises.

La complexité du problème ouvre grand les portes pour des avenues futures de recherche. La perte d'une mise implique évidemment une réévaluation de la procédure d'allocation des véhicules aux ordres, ce qui peut conduire à la création d'un nouveau modèle, sûrement stochastique, qui permettra la prise en considération des charges possibles dans le future. La recherche portera aussi sur le cas des enchères sur plusieurs items dans le contexte du marché non-combinatoire.

Si nous regardons l'interaction d'un aviseur avec le marché (Figure 3.2), nous constatons que seulement une petite partie de ce diagramme est amorcée. Le principal lien de l'aviseur avec le marché, l'agent de négociation, devra lui aussi être analysé et programmé.

De plus, les outils d'enchères qui seront développés pourraient être exploités pour monter un prototype élaboré de bourse de fret.

Bibliographie

- [1] [http : //www.commerce-one.com](http://www.commerce-one.com).
- [2] [http : //www.digitalmarket.com](http://www.digitalmarket.com).
- [3] [http : //www.metalsite.com](http://www.metalsite.com).
- [4] [http : //www.netbuy.com](http://www.netbuy.com).
- [5] [http : //www.tc.qc.ca/pol/fr](http://www.tc.qc.ca/pol/fr).
- [6] [http : //www.tpnregister.com](http://www.tpnregister.com).
- [7] *Innovation Transport*, Bulletin Scientifique et Technologique, vol. 15, 2003, Février, pp. 11 – 15.
- [8] ABOUBEKR, M. et S. RIVARD, *Commerce Électronique et Conflicts de Canaux de Distribution : Un État de la Question*, 2002RP-09, 2002, Avril. CIRANO, Montréal, Québec.
- [9] ABRACHE, J., T.C. CRAINIC et M. GENDREAU, *Design Issues for Combinatorial Auctions*, CRT-2002-54, 2002. À paraître dans 4OR.
- [10] BABIN, G., T.G. CRAINIC, M. GENDREAU et AL, *Towards Electronic Marketplaces : A Progress Report*, Proceedings of The 4th International Conference on Electronic Commerce Research (ICECR-4), vol. 2, 2001, pp. 637 – 648. Cox School of Business, Southern Methodist University, Dallas TX.
- [11] BEAM, C. et A. SEGEV, *Electronic Catalogs and Negotiations*, 1997. University of California, Berkley (CA).
- [12] BEAM, C. et A. SEGEV, *Auctions on Internet : A Field Study*, 1998, November. Fisher Center for Management and Information Technology, University of California, Berkeley.

- [13] BICHLER, M., A. SEGEV et C. BEAM, *An Electronic Broker for Business-to-business Electronic Commerce on the Internet*, International Journal of Cooperative Information Systems, vol. 7, no. 4, 1998, pp. 315 – 329.
- [14] BROCHE, A., *The Eight Deadly Assumptions of E-Business*, Journal of Business Strategy, vol. 21, no. 3, 2000, pp. 13 – 17.
- [15] BRÄYSY, O. et M. GENDREAU, *Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part I : Route Construction and Local Search Algorithms*, CRT-2003-13, 2003, June. À paraître dans Transportation Science.
- [16] BRÄYSY, O. et M. GENDREAU, *Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II : Metaheuristics*, CRT-2003-14, 2003, June. À paraître dans Transportation Science.
- [17] BÉGIN, L., A. TCHOKOGUÉ et H. BOISVERT, *Pour un Déploiement Stratégique du Commerce Électronique*, 2001. Isabelle Quentin (éd), Collection Les communicateurs.
- [18] CORDEAU, J.F. et G. LAPORTE, *A Unified Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows*, Journal of the Operational Research Society, vol. 52, 2001, pp. 928 – 936.
- [19] CRAINIC, T.G., *Network Design in Freight Transportation*, European Journal of Operational Research, vol. 122, no. 2, 2000, pp. 272 – 288.
- [20] CRAINIC, T.G., *Long - Haul Freight Transportation*, Handbook of Transportation Science, 2003, pp. 451 – 516. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.
- [21] DE VRIES, S. et R. VOHRA, *Combinatorial Auctions*, Journal of Computing, 2002.
- [22] DESROCHERS, M., J. DESROSIERS et M.M. SOLOMON, *A New Optimisation Algorithm for Vehicle Routing with Time Windows*, Operations Research, vol. 40, 1992, pp. 342 – 354.
- [23] DESROCHERS, M., J.K. LENSTRA, M.W.P. SAVELSBERGH et F. SOUMIS, *Vehicle Routing with Time Windows : Optimisation and Approximation*, Ve-

- hicle Routing : Methods and Studies, 1988, pp. 65 – 84. B.L. Golden et A.A. Assad (éd.), Elsevier, North-Holland (Amsterdam).
- [24] DESROSIERS, J., Y. DUMAS, M. SOLOMON et F. SOUMIS, *Time Constrained Routing and Scheduling*, Handbook in OR and MS, vol. 8, 1995, pp. 85 – 107. Elsevier Science B.V.
 - [25] FISCHER, K. et J.P. MÜLLER, *Cooperative Transportation Scheduling : an Application Domain for DAI*, Journal of Applied Artificial Intelligence, vol. 10, no. 1, 1996.
 - [26] FISCHER, K. et J.P. MÜLLER, *A Decision - Theoretic Model for Cooperative Transportation Scheduling*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 1038, 1996, pp. 177 – 189. Berlin : Springer-Verlag.
 - [27] FRIEDMAN, D. et J. RUST, *Double Auction Market Institution, Theories and Evidence*, Proceedings, vol. 14, 1993. Addison - Wesley (éd).
 - [28] GARCIA, B.-L., J.-Y. POTVIN et J.M. ROUSSEAU, *A Parallel Implementation of the Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows Constraints*, Computers and Operations Research, vol. 21, 1994, pp. 1025 – 1033.
 - [29] GENDREAU, M., *An Introduction to Tabu Search*, Metaheuristic Handbook, 2003. F. Glover et G. A. Kochenberger (éd), Kluwer Academic Publishers, Boston, À paraître.
 - [30] GENDREAU, M., G. HERTZ, G. LAPORTE et M. STAN, *A Generalized Insertion Heuristic for Traveling Salesman Problem with Time Windows*, Operations Research, vol. 43, 1998, pp. 330 – 335.
 - [31] GLOVER, F., *Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence*, Computers and Operations Research, vol. 13, 1986, pp. 533 – 549.
 - [32] GLOVER, F., *Tabu Search - Part I*, Journal of Computing, vol. 1, 1989, pp. 190 – 206.

- [33] GLOVER, F., *Tabu Search - Part II*, Journal of Computing, vol. 2, 1990, pp. 4 – 32.
- [34] KIRKPATRICK, S., C.D. GELATT et P.M. VECCHI, *Optimisation by Simulated Annealing*, Science 220, 1983, pp. 67 – 680.
- [35] LEDYARD, J.O., M. OLSON, D. PORTER, J.A. SWANSON et D.P. TORMA, *The First Use of a Combined Value Auction for Transportation Services*, Technical Report Social Science Working Paper 1093, 2000. California Institute of Technology.
- [36] MACKIE, J.K. et H.R. VARIAN, *Generalized Vickrey Auction*, 1994. University of Michigan.
- [37] MCAFEE, R.P. et J. McMILLAN, *Auctions and Bidding*, Journal of Economic Literature, vol. 25, 1987, pp. 699 – 738.
- [38] MCCABE, K.A., S.J. RASSENTI et V.L. SMITH, *Auction Institutional Design : Theory and Behavior of Simultaneous Multiple-Unit Generalisation of the Dutch and English Auction*, American Economic Review, vol. 80, no. 5, 1990, pp. 1276 – 1283.
- [39] MILGROM, P.R. et R.J. WABER, *A Theory of Auction and Competitive Bidding*, Econometrica, vol. 50, 1982, pp. 1089 – 1122.
- [40] MORGAN, J., K. STEIGLITZ et G. REIS, *Relative Profit Auctions*, 2001, August. Princeton University.
- [41] MÜLLER, H.J., *Negotiation Principles*, Foundations of Distributed Artificial Intelligence : Chapter 7, 1996.
- [42] POTVIN, J.-Y., T. KERVAHUT, B.-L. GARCIA et J.M. ROUSSEAU, *A Vehicle Routing Problems with Time Windows - Part I : Tabu Search*, INFORMS Journal of Computing, vol. 8, 1996, pp. 158 – 164.
- [43] POTVIN, J.-Y. et J. M. ROUSSEAU, *A Parallel Route Building Algorithm for Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows Constraints*, European Journal of Operational Research, vol. 66, 1993, pp. 331 – 340.

- [44] REICH, B. et I. BEN-SHAUL, *A Componentized Architecture for Dynamic Electronic Markets*, 1998. Technion Israel Institute of Technology.
- [45] RESSENTI, S.J., V.L. SMITH et R.L. BULFIN, *A Combinatorial Auction Mechanism for Airport Time Slot Allocation*, Bell Journal of Economics, vol. 13, no. 2, 1982, pp. 402 – 417.
- [46] RICHELLE, Y. et J. ROBERT, *Appel d'Offre et Enchères Renversées : Une Présentation Simplifiée de Trois Enchères Cadencées*, 2001RP-06, 2001, Février. CIRANO, Montréal, Québec.
- [47] ROTHKOPF, M.H. et S. PARK, *An Elementary Introduction to Auctions*, Interfaces, vol. 31, no. 6, 2001, pp. 83 – 97.
- [48] ROTHKOPF, M.H., A. REKEC et R.M. HARSTAD, *Computationally Manageable Combinatorial Auctions*, Management Science, vol. 44, no. 8, 1998, pp. 1131 – 1147.
- [49] RUSSELL, R.A., *An Effective Heuristic for m-Tour Traveling Salesman Problem with Some Side Conditions*, Operations Research, vol. 25, 1977, pp. 517 – 524.
- [50] SANDHOLM, T., *An Implementation of the Contract Net Protocol Based on Marginal Cost Calculations*, Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-93), 1993, pp. 256 – 263.
- [51] SANDHOLM, T., *Issues in Automated Negotiation and Electronic Commerce : Extending the Contract Net Framework*, International Conference on Multi-Agent Sysyem (ICMAS-95), 1995. San Francisco (CA).
- [52] SANDHOLM, T., *Algorithm for Optimal Winner Determination in Combinatorial Auctions*, Artificial Intelligence, vol. 135, 2002, pp. 1 – 54.
- [53] SAVELSBERGH, M.W.P., *Local Search in Routing Problems with Time Windows*, Annals of Operations Research, vol. 4, 1985, pp. 285 – 305.
- [54] SEGEV, A., J. GEBÄUNER et F. FARBER, *Internet-based Electronic Markets*, 1999. Fisher Center for Information Technology and Marketplace Transformation.

- [55] SMITH, R.G., *The Contract Net Protocol : High-level Communication and Control in a Distributed Problem*, Readings in Distributed Intelligence, 1980. A.Bond et L. Gasser (éd), San Mateo (CA).
- [56] SOLOMON, M.M., *Algorithms for Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows Constraints*, Operations Research, vol. 35, 1987, pp. 254 – 265.
- [57] STANLEY, Y.W.Su, C. HUANG et J. HAMMER, *A Replicable Web-Based Negotiation Server for E-Commerce*, Thirty-third Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-33), IEEE, 2000, January. University of Florida, Gainesville (FL).
- [58] TAILLARD, E.P., P. BARDEAU, M. GENDREAU, F. GUERTIN et J.-Y. POTVIN, *A Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows*, Transportation Science, vol. 31, 1997, pp. 170 – 186.
- [59] TD/B/COM.3/EM.12/2, *Rapport du Secrétariat de la Conférence des Nations Unies sur le Commerce Électronique et le Développement (CNUCED)*, 2001, Juillet.
- [60] VICKREY, W., *Counterspeculation, Auction and Competitive Sealed Tenders*, Journal of Finance, vol. 16, 1961, March, pp. 8 – 37.
- [61] WURMAN, P., W. WALSH et M. WELLMAN, *Flexible Double Auctions for Electronic Commerce : Theory and Implementation*, 1998. University of Michigan (MI).
- [62] WURMAN, P.R. et M.P. WELLMAN, *Equilibrium Prices in Bundle Auctions*, AAAI-99 Workshop on Artificial Intelligence for Electronic Commerce, 1999, pp. 56 – 61.
- [63] WURMAN, P.R., M.P. WELLMAN et W.E. WALSH, *A Parametrization of the Auction Design Space*, Games and Economic Behavior, vol. 35, 2001, pp. 304 – 338.

